

۹۷

آخبار

سال بیست و هفتم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، شماره پیاپی ۹۷



پژوهشگاه دانش‌های بنیادی



چيست اين سقف بلند دساره بسيار نقش؟
زمينه هميچ دن درجبنه گاه نيت

حافظ

زیج ایلخانی



[هلاکو خان] در آن وقت که ولایت ملحدان گرفت من بندهٔ کمترین نصیر را که از طوسم و به ولایت ملحدان افتاده بودم از آنجا بیرون آورد و رصد ستارگان فرمود و حکمایی که رصد می‌دانستند چون مؤیدالدین عَرَضی که به دمشق بود و فخرالدین مراغی که به موصل بود و فخرالدین اخلاطی که به تفلیس بود و نجم‌الدین دبیران که به قزوین بود از آن ولایتها بطلبید و زمین مراغه رصد را اختیار کردند و به آن بندگی مشغول شدند و آلتها بساختند و بناهای لائق برآوردند و فرمود تا کتابها از بغداد و موصل و خراسان بیاوردند و در موضعی که رصد می‌کردند بنهادند تا آن کار نسق نیکو یافت و آوازهٔ این کار عظیم در جملهٔ آفاق منتشر گشت.

خواجه نصیرالدین طوسی (۵۹۷ تا ۶۷۲ ه‍.ق) در مقدمهٔ «زیج ایلخانی» با عبارات بالا از تأسیس رصدخانهٔ مراغه سخن می‌گوید، رصدخانه‌ای که یکی از مهمترین مراکز رصدی قبل از اختراع تلسکوپ بوده است. بنای این رصدخانه در سال ۶۵۷ ه‍.ق در دورهٔ هلاکو خان مغول و به ابتکار و مدیریت خواجه نصیرالدین طوسی، دانشمند برجستهٔ ایرانی آغاز شد و مشتمل بود بر برجی برای رصد و ساختمان‌هایی برای یک کتابخانهٔ عظیم، محل اقامت دانشمندان، و کارگاه ساخت آلات نجومی. موقوفات بسیار به آن تخصیص یافته بود و پیشرفته‌ترین آلات نجومی آن زمان در آنجا ساخته شد یا از جاهای دیگر به آنجا آورده شد. این رصدخانه بعدها الگوی رصدخانه‌های معتبر دیگری قرار گرفت، مانند رصدخانهٔ الغیبیگ در سمرقند و رصدخانهٔ چین که به وسیلهٔ فو من جی (از همکاران رصدخانهٔ مراغه) برپا شد. ولی رصدخانهٔ مراغه فقط یک مرکز رصدی نبود بلکه نصیرالدین طوسی که خود دانشمند جامع‌الاطراف در زمینه‌های مختلف (ریاضی، نجوم، کلام، فقه، فلسفه، و پزشکی) بود دانشوران ذیصلاحی را از نقاط مختلف در رصدخانه گرد آورد و آنجا را تبدیل به یک مرکز پژوهشی-آموزشی فعال کرد.

استادان گفته‌اند که رصد به کمتر از سی سال که دور این هفت ستارگان تمام شود نتوان ساخت و اگر بیشتر از سی سال به آن کار مشغول باشند بهتر و درست‌تر باشد و پادشاه ما که آغاز رصد نهادن فرمود،[۱] فرمود که جهد کنید تا زودتر تمام شود و فرمود که مگر بدوازده سال تمام شود ما بندگان گفتیم که جهد کنیم اگر روزگار وفا کند ...

طوسی در اینجا به پیشینهٔ چند رصد قبلی (به ترتیب، منسوب به ابرخس، بطلمیوس، مأمون خلیفه، بتانی در شام، حاکمی در مصر، و ابن اعلم در بغداد) می‌پردازد و می‌گوید:

برجمله در همهٔ رصدهای گذشته نظر کردیم و آنچه یافتیم با آنچه از رصد ما معلوم شد مقابل کردیم پس آن نوشتیم و این زیج بنا بر آنچه معلوم شد ساختیم و اگر خدای تعالی عمر دهد و دولت پادشاه جهان یاور باشد آنچه بعد از این معلوم شود هم بسازیم و ببندگی عرضه داریم اما اگر روزگار وفا نکند آنچه در این زیج است بعد از ما به عمرهای دراز اهل این علم را فایده باشد ...

... این است احوال رصد بر اجمال و بنا [ی] زیج بر چهار مقالات نهادیم اول در معرفت تواریخ دوم در معرفت روش ستارگان و مواضع ایشان سیم در معرفت اوقات و طالعهای هر وقتی و چهارم در باقی اعمال نجومی.

با تشکر از راهنمایی‌های سید جواد طباطبایی پژوهشگر تاریخ علم. مطالب نقل شده از زیج ایلخانی برگرفته از نسخهٔ خطی زیج ایلخانی، مجموعهٔ میناسیان، دانشگاه کالیفرنیا در لس‌آنجلس است.

از جمله ثمرات فعالیت این رصدخانه، تدوین «زیج ایلخانی» به دست نصیرالدین طوسی و دانشمندان همکار اوست. زیج [معرب زیج] در اصطلاح منجمان به کتابی حاوی جدول‌های نجومی گفته می‌شد که اطلاعات حاصل از رصد ستارگان و اجرام آسمانی در آنها ثبت شده بود و برای انواع مطالعات نجومی، تهیهٔ تقویم، و نیز طالع‌بینی به کار می‌رفت.

زیج ایلخانی (منسوب به نام سلسلهٔ ایلخانی که هلاکو به آن تعلق داشت) به زبان فارسی نوشته شده و مبتنی بر رصدهای انجام‌شده طی ۱۲ سال در رصدخانهٔ مراغه است. تدوین آن در سال ۶۷۰ ه‍.ق در زمان اباقا خان (فرزند هلاکو) به پایان رسید و قرن‌ها از اعتبار خاصی در بسیاری از نواحی مشرق زمین، از جمله در چین، برخوردار بود. ترجمهٔ آن به لاتین نیز در سال ۱۶۵۲ میلادی، ۳۰۰ سال پس از مرگ طوسی، در اروپا منتشر شد. این کتاب حاوی اطلاعاتی دربارهٔ تقویم‌های هجری، یزدگردی، سلوکی، یهودی، ملکی، و چینی -او یغوری و جدول‌های متعدد برای محاسبهٔ مواضع و حرکات سیاره‌ها و ستارگان شناخته شده در آن زمان است.

بعدها متون متعددی در شرح و تلخیص، و نیز نقد و تصحیح این زیج نوشته شد چنانکه مثلاً غیاث‌الدین جمشید کاشانی ریاضیدان و ستاره‌شناس ایرانی، «زیج خاقانی» را در تکمیل و تصحیح زیج ایلخانی تهیه کرد. زیج‌ها معمولاً براساس رصدهای سی‌ساله و بیشتر تهیه می‌شدند اما برای زیج ایلخانی ظاهراً به خواست پادشاه، به دوازده سال اکتفا شد. خواجه نصیر در مقدمهٔ زیج، در «سخن در باب این رصد»، به این موضوع اشاره کرده و آرزوی تکمیل زیج را داشته است:

اطلاع‌رسانی درباره فعالیت‌های پژوهشکده‌ها و مراکز آ‌پی‌ام در هر فصل، وظیفه اصلی نشریه اخبار است ولی از چند شماره پیش تصمیم گرفته شد علاوه بر انعکاس رویدادهای فصلی، بخش عمده‌ای از هر شماره به معرفی تفصیلی یک پژوهشکده اختصاص یابد تا خواننده علاقه‌مند بتواند با مطالعه یک شماره اطلاع کافی از وضعیت پژوهشکده مورد نظر (از لحاظ ساختار، پرسنل و امکانات، و به خصوص مباحث مورد علاقه و تحقیق پژوهشگران آن و زمینه کلی آن مباحث و اهمیت آنها) به دست آورد. در سه شماره از چهار شماره پیشین، این تصمیم به ترتیب در مورد پژوهشکده‌های فلسفه تحلیلی، ذرات و شتابگرها، و علوم کامپیوتر- اجرا شد و این شماره به پژوهشکده نجوم و مباحث نجومی اختصاص دارد.



آشنایی بیشتر با پژوهشکده نجوم

حسن فیروزجاهی
پژوهشکده نجوم

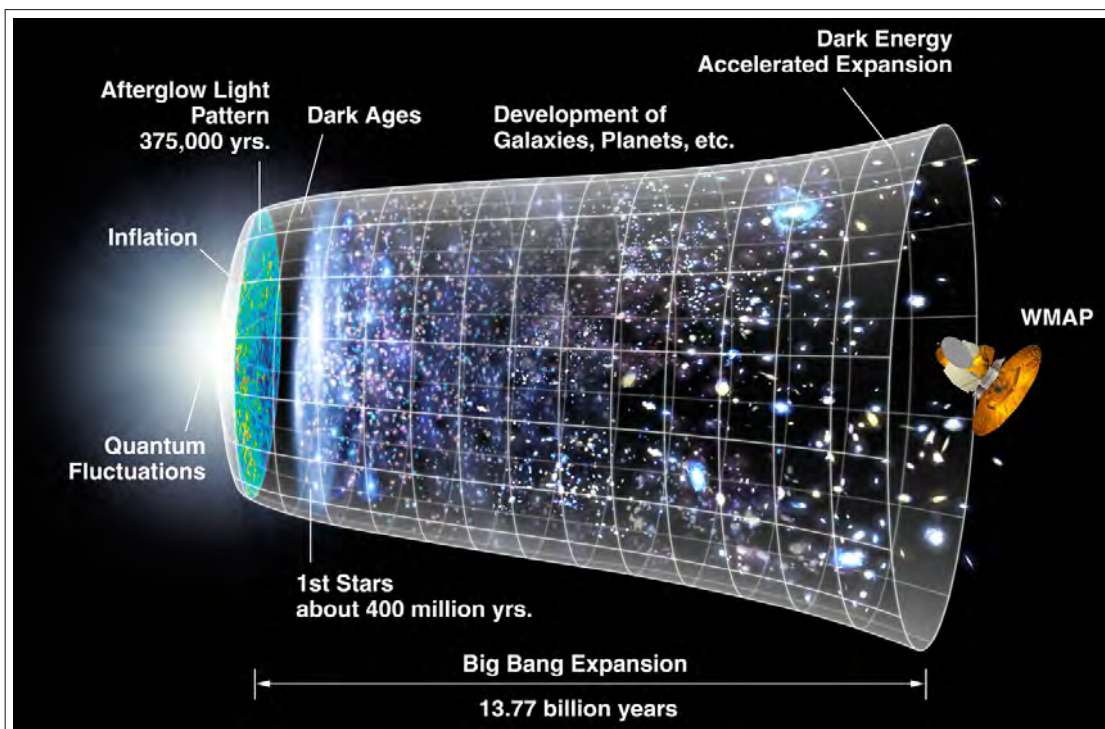
با توجه به تعداد محدود منجمان متخصص در ایران، هدف اصلی از تأسیس پژوهشکده نجوم فراهم آوردن زمینه‌ای برای مشارکت منجمان و کیهانشناسان متخصص ایرانی در طرح‌های بین‌المللی و توسعه تجهیزات پیشرفته نجومی در کشور و هدف بلندمدت پژوهشکده نجوم داشتن گروه‌های تحقیقاتی فعال در سطح جهان است. گروه‌های تحقیقاتی فعال در پژوهشکده نجوم عبارت‌اند از کیهانشناسی نظری، نجوم و کیهانشناسی رصدی، اخترفیزیک و نجوم محاسباتی.

اهداف گروه‌های پژوهشی پژوهشکده نجوم

گروه نجوم و کیهانشناسی رصدی: تمرکز این گروه بر مطالعه تشکیل و تحول کهکشان‌ها با بهره‌گیری از رصدهای چند طول موجی است که گستره وسیعی از طول‌موج‌های بلند مانند رادیویی، متوسط مانند نور مرئی، و طول موج کوتاه مانند پرتوهای ایکس را شامل می‌شود. این گروه جزو معدود گروه‌های تحقیقاتی کشور است که توانسته است با ارائه

نجوم و کیهانشناسی در ۳۰ سال گذشته شاهد پیشرفت‌های خیره‌کننده‌ای بوده است که آن را مدیون پیشرفت فناوری است. هر ساله چند میلیارد یورو در نجوم و کیهانشناسی سرمایه‌گذاری و هزینه می‌شود تا این شاخه از علم، که همواره یکی از محرک‌های پیشرفت فناوری بوده است و نقطه اتصال علوم پایه، و مهندسی سازه‌های سنگین و در عین حال دقیق، و نیز آشکارسازهای بسیار حساس است، همچنان در صف اول توسعه علمی باقی بماند.

بر این مبنا، مأموریت پژوهشکده نجوم «راه‌اندازی نجوم نوین در ایران، شامل نجوم رصدی، نجوم و کیهانشناسی نظری، محاسباتی و تجهیزاتی» تعیین شده است. همچنین در جهت همکاری گسترده با طرح رصدخانه ملی ایران، دو وظیفه اصلی و فوری پژوهشکده نجوم، تربیت منجم رصدگر، و تربیت نیروی فنی توانا برای ساخت تجهیزات نجومی در بخش توسعه فناوری است. پس از دستیابی به این مهم، پژوهشکده نجوم مسئولیت و نظارت بر بخش توسعه و فناوری را به طرح رصدخانه ملی ایران خواهد سپرد.



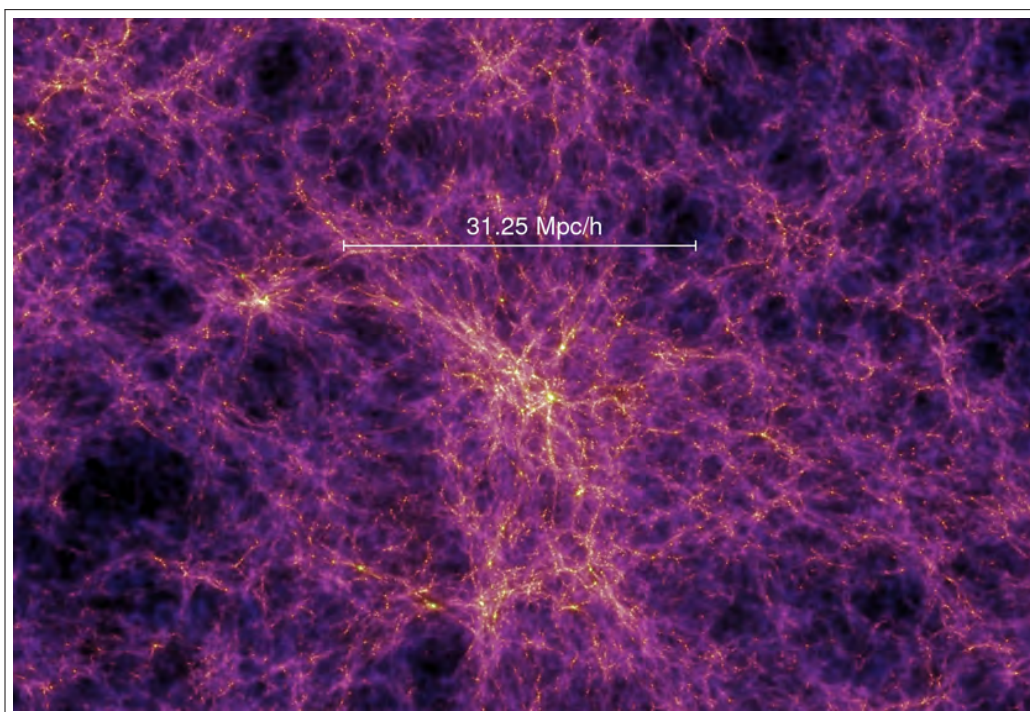
تاریخچه مختصر تحول کیهان طی ۱۳/۷ میلیارد سال. از اتفاقات مهم در تاریخ تحول کیهان می‌توان به تورم کیهانی در ثانیه‌های نخست آزادسازی فوتون‌های تابش زمینه در ۴۰۰ هزار سال بعد از انفجار بزرگ، تشکیل ساختار در حضور ماده تاریک و نهایتاً غلبه انرژی تاریک تقریباً ۵ میلیارد سال قبل اشاره کرد.

هستیم که رابطه تنگاتنگی بین کیهانشناسی نظری و مشاهدات رصدی ایجاد شده است. مأموریت این گروه پژوهشی گسترش فعالیت‌های تحقیقاتی در مرزهای دانش در زمینه پیدایش عالم و به خصوص لحظات نخستین تشکیل کیهان است. ارائه و آزمودن نظریه‌های کیهانشناسی مانند مدل‌های مختلف تورمی و مدل‌هایی که ناهمگنی و ناهمسانگردی در تابش زمینه کیهانی و تشکیل ساختار را پیش‌بینی می‌کنند از جمله این موارد است. تمرکز اصلی این گروه پژوهشی روی مدل‌های تورمی به عنوان مکانیزم غالب در آفرینش کیهان در زمان‌های نخستین، تشکیل بذره‌های اولیه روی تابش زمینه کیهانی و تشکیل ساختارهای بزرگ‌مقیاس خواهد بود. در طی سال‌های اخیر مشاهدات دقیقی توسط ماهواره پلانک در مورد اختلالات تابش زمینه انجام شده است. بررسی قیدهای ناشی از این مشاهدات رصدی روی مدل‌های کیهان اولیه و مدل استاندارد مبتنی بر انرژی تاریک و ماده تاریک یکی دیگر از الویت‌های پژوهشی این گروه است. همچنین تشکیل ساختار، تولید و انتشار امواج گرانشی، و سیاهچاله‌های اولیه از زمینه‌های پژوهشی پرآیه در آینده نزدیک خواهد بود. سرمایه‌گذاری در این زمینه‌ها و تعامل آنها با کیهان اولیه و نسبیت عام از دیگر برنامه‌های پژوهشی مورد نظر این گروه است.

پیشنهادهای رصدی به بزرگترین رصدخانه‌های جهان و تلسکوپ‌های زمینی و فضایی به مطالعه خوشه‌های کهکشانی و نحوه توزیع ماده تاریک، مطالعه هسته مرکزی کهکشان‌های فعال و سیاهچاله‌های بسیار پرجرم بپردازد. این مطالعات با هدف درک تشکیل و تحول ساختارهای ستاره‌ای در عالم و تأثیر محیط بر آن انجام می‌گیرد. آزمودن نظریه‌های تشکیل و تحول کهکشان‌ها که به طور مستقیم در شبیه‌سازی‌های کیهانشناسی از آنها استفاده می‌شود توسط داده‌های رصدی از اهداف بلندمدت این گروه است. بخش توسعه فناوری این گروه پژوهشی نیز اولین واحد تخصصی کشور در حوزه طراحی و ساخت تجهیزات رصدی است؛ در ۵ سال آینده طراحی و ساخت ابزار رصدی تلسکوپ‌های کوچک و متوسط ۱ تا ۴ متر را در دستور کار خود دارد و در حال حاضر زیر نظر طرح رصدخانه ملی ایران مشغول به فعالیت است.

با پیوستن دکتر فاطمه طباطبایی به پژوهشکده، فعالیت‌های پژوهشی گروه رصدی وارد افق جدیدی شده است. امیدواریم با جذب نیروهای جدید و کارآمد با تجربه بین‌المللی، پژوهش در نجوم و کیهانشناسی رصدی از لحاظ کمی و کیفی اعتلاء یابد.

گروه کیهانشناسی نظری: ما اکنون در عصر طلایی کیهانشناسی



شبیه‌سازی Millennium از تشکیل ساختارهای بزرگ مقیاس کیهان، اجرا شده در مؤسسه ماکس پلانک

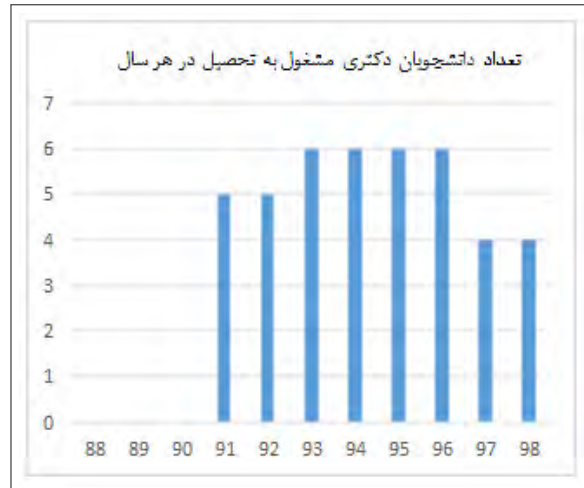
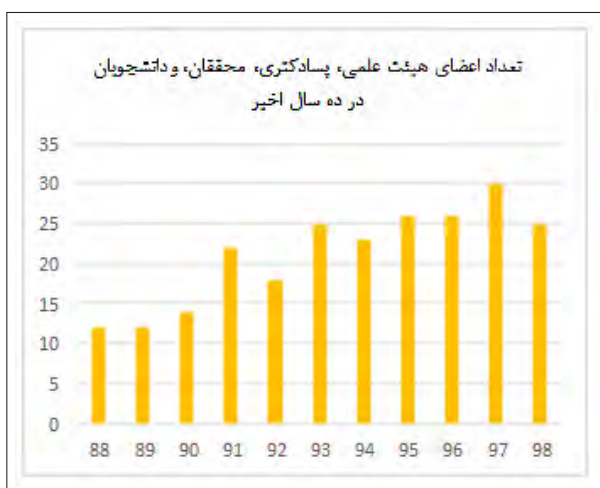
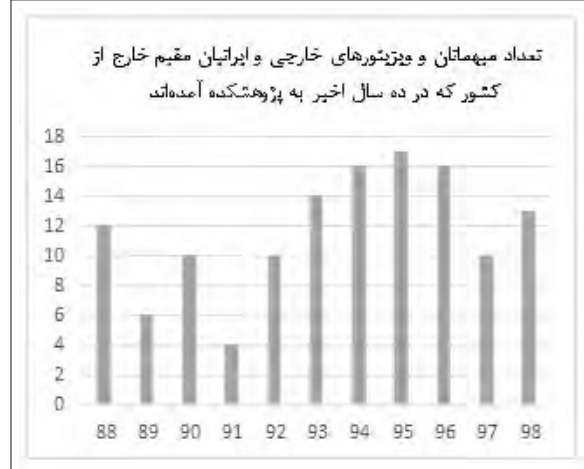
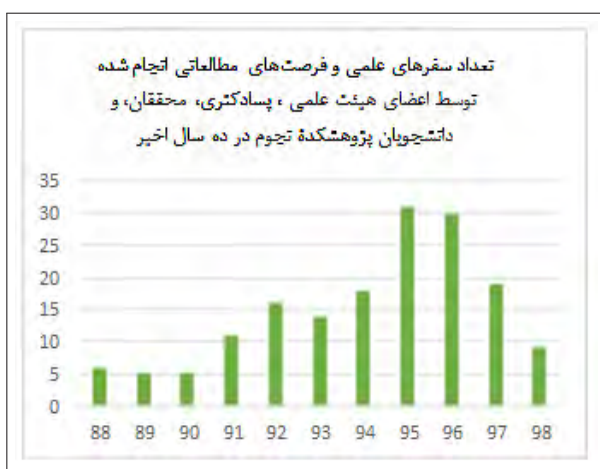
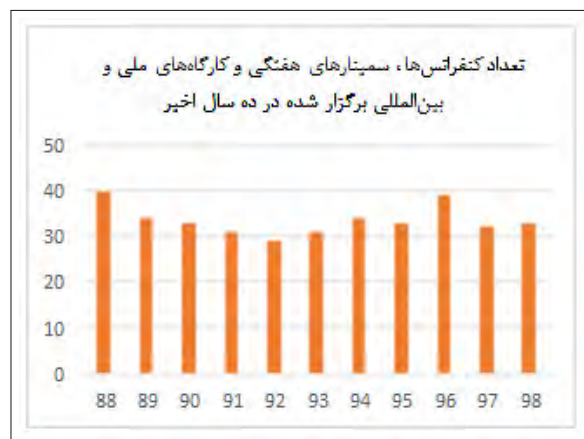
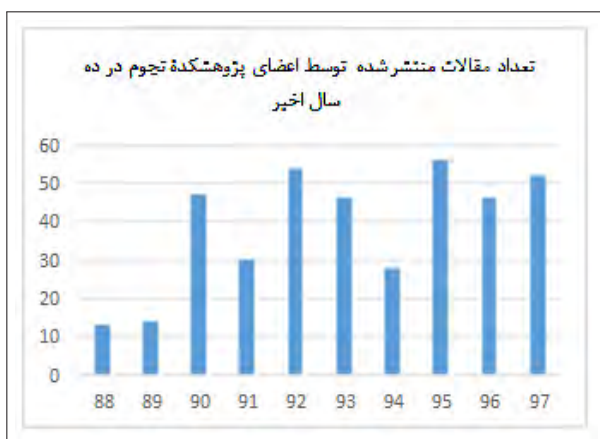
محاسباتی و گسترش آن برای انجام مطالعات در حوزه اخترفیزیک انرژی‌های بالا نظیر هیدرودینامیک مغناطیسی از دیگر اهداف این گروه است. تحقیق دربارهٔ دیسک‌های برافزایشی اطراف هسته‌های مرکزی سیاهچاله در مقیاس‌های متفاوت از سیاهچاله‌های کم‌جرم تا هسته‌های کهکشانی فعال، نحوهٔ فروریزش ماده به سیاهچاله‌ها، و پرتاب این مواد به محیط میان‌ستاره‌ای و میان‌کهکشانی از طریق مطالعات عددی از برنامه‌های راهبردی این گروه است. مدل‌سازی برای درک تشکیل سیارات فرامنظومه که با استفاده از تلسکوپ کپلر و گایا مشاهده شده‌اند، نحوهٔ پخش مواد آلی در محیط میان‌ستاره‌ای به عنوان مواد اولیهٔ تشکیل حیات پیچیده، از چشم‌اندازهای تحقیقاتی این گروه رصدی است. همچنین همکاری در تربیت نیروی انسانی و آموزش دورهٔ دکتری از جمله اهداف بلندمدت آموزشی این گروه است. در کنار گروه‌های رصدی، حضور گروه نظری امتیاز ویژه‌ای برای هر دو گروه تحقیقاتی است.

پذیرش دانشجوی دکتری، برگزاری کارگاه‌های آموزشی، برگزاری مدارس بین‌المللی نجوم با هدف افزایش همکاری‌های بین‌المللی و آموزشی، تربیت نیروی رصدگر، ایجاد زمینه برای فرصت مطالعاتی و سفرهای علمی برای اعضای هیئت علمی، پسادکتری، محققان، و دانشجویان و میزبانی از محققان برجسته مستقر در دیگر کشورها از جمله فعالیت‌های پژوهشکدهٔ نجوم در طی این سال‌ها بوده است. ■

با پیوستن دکتر محمدحسین نامجو به گروه نظری، وزن قابل توجهی به کیفیت و کمیت پژوهش‌ها در این شاخه افزوده شده و امیدواریم این مسیر پژوهشی با جذب نیروهای جدید و باانگیزه ادامه پیدا کند.

گروه اختر فیزیک و نجوم محاسباتی: مأموریت این گروه به طور کلی انجام پژوهش در حوزه اخترفیزیک با رویکردی جدید است که در آن محاسبات رایانه‌ای و شبیه‌سازی‌های اخترفیزیکی و کیهان‌شناسی جایگاه ویژه‌ای دارند. ستاره‌ها و کهکشان‌ها آزمایشگاه‌های بزرگی هستند که فرایندهای پیچیدهٔ مولکولی، اتمی، و هسته‌ای در آنها در مقیاسی دست‌نیافتنی برای بشر انجام می‌گیرد. درک پدیده‌های اخترفیزیک با شبیه‌سازی، رویکرد این گروه پژوهشی برای رمزگشایی از فرآیندهای تحول ستاره‌ای، دیسک‌های برافزایشی و جت‌های ناشی از هسته‌های کهکشانی فعال و یا دیسک‌های اطراف سیاهچاله‌های اخترفیزیکی است. در این راستا، ارائهٔ مدل‌های جدید یا اصلاح مدل‌های موجود تشکیل و تحول ستارگان و عوامل مؤثر در ستاره‌زایی و غنی‌سازی فلزی عالم و محک زدن این مدل‌ها با استفاده از داده‌های به دست آمده در گروه نجوم و کیهان‌شناسی رصدی از مهم‌ترین اهداف این گروه پژوهشی است. همچنین استفاده از امکانات محاسباتی موجود در پژوهشکدهٔ نجوم و پژوهشگاه دانش‌های بنیادی و تورین

نگاهی به فعالیتهای پژوهشکده نجوم در ده سال اخیر



ناموضعیّت — به مفهوم یک اثر («حافظه») از گذشته که دوام دارد — می‌تواند یک ویژگی طبیعی برهم‌کنش گرانشی عام باشد.

در راستای این دیدگاه، حدود یک دهه پیش (سال ۲۰۰۹) هیل (F.W. Hehl) و من یک چارچوب صوری برای تعمیم ناموضعی کلاسیک نظریه گرانش اینشتین ارائه و منتشر کردیم. میدان گرانش در این نظریه، موضعی است، ولی در معادلاتی میدانی از نوع انتگرالی-دیفرانسیلی پاره‌ای صدق می‌کند. به علاوه، یک پیامد مهم مشاهداتی این نظریه آن است که به نظر می‌رسد جنبه ناموضعی گرانش، ماده تاریک را شبیه‌سازی می‌کند. یعنی آنچه اکنون در اخترفیزیک و کیهان‌شناسی به عنوان ماده تاریک در نظر گرفته می‌شود ممکن است در واقع نمایانگر مؤلفه ناموضعی برهم‌کنش گرانشی باشد. جنبه‌های غیرخطی گرانش ناموضعی (NLG) هنوز مورد تحقیق قرار نگرفته است؛ در واقع، تنها جواب دقیق شناخته‌شده نظریه NLG، این جواب بدیهی است که در غیاب گرانش، فضا زمان مینکوفسکی را داریم. پیچیدگی NLG امکان نداده است که هیچ جواب دقیق دیگری پیدا شود. از این رو، نتایج NLG برای سیاهچاله‌ها، تکینگی‌ها، و غیره فعلاً ناشناخته‌اند. اما تحقیقات گسترده‌ای درباره جنبه‌های خطی این نظریه و سیستم نیوتونی آن صورت گرفته است. پیش‌بینی‌های نظریه گرانش ناموضعی با داده‌های مشاهداتی در منظومه شمسی تطابق دارد. به علاوه، به یمن تحلیل مبسوط دکتر سهراب راهوار (دانشگاه صنعتی شریف) می‌دانیم که NLG با فیزیک گرانشی کهکشان‌های مارپیچی و خوشه‌های کهکشان‌ها سازگار است (راهوار و مشحون، ۲۰۱۴).

کتاب جدید من درباره «گرانش ناموضعی» (انتشارات دانشگاه آکسفورد، ۲۰۱۷) شامل بررسی میسوطی از این نظریه جدید گرانش است. هنوز مسائل زیادی درباره پیامدهای اخترفیزیکی و کیهان‌شناختی گرانش ناموضعی هست که باید حل و فصل شود. به عنوان نمونه، ساختار و دینامیک کهکشان‌ها در نظریه NLG تفاوت معناداری با فرضیه ماده تاریک دارد. در حقیقت، شبیه‌سازی کهکشانی که اخیراً در چارچوب نظریه NLG انجام شده‌اند، نشان می‌دهند که کهکشان‌ها در مقایسه با فرضیه ماده تاریک دارای دینامیک و ریخت‌شناسی متفاوتی هستند. از طرف دیگر، این نظریه پیش‌بینی کاملاً متفاوتی در خصوص ساختار کهکشان‌های کوتوله و میزان ماده تاریک لازم در این کهکشان‌ها ارائه می‌دهد که احتیاج به مطالعه بیشتر و تطبیق با رصد دارد. همچنین شایان ذکر است که برای مطالعه دقیق دینامیک کهکشان‌ها در نظریه NLG لازم است مفاهیمی همچون اصطکاک دینامیکی، اثرات جزر و مدی و غیره مورد بازبینی قرار گیرند. من با همکاری دکتر محمود روشن از دانشگاه فردوسی مشهد مشغول تحقیق روی این مسائل هستم. ■

گرانش ناموضعی:

تعمیم ناموضعی نسبیت عام اینشتین



بهرام مشحون
پژوهشکده نجوم

فیزیک مورد بحث در نظریه استاندارد نسبیت، موضعی است به این معنا که اصل موضعیّت در سراسر نظریه‌های نسبیت خاص و عام مطرح است. نخست ناوردایی لورنتس به صورت نقطه‌به‌نقطه به ناظران واقعی، یعنی شتابدار، در فضا زمان مینکوفسکی گسترش داده می‌شود. سپس این فرضیه موضعی بودن به طور اساسی در اصل هم‌ارزی موضعی اینشتین به کار می‌رود تا موجب لختی نقطه به نقطه ناظران در یک میدان گرانشی شود. اما چنانکه بور و روزنفلد (۱۹۳۳) نشان دادند، اندازه‌گیری‌های میدانی ذاتاً ناموضعی است. همین طور با توجه به اصل هویگنس به طور شهودی واضح است که پدیده‌های موجی عموماً ناموضعی‌اند. برای گذر از اصل موضعیّت در فضا زمان مینکوفسکی، تاریخ گذشته ناظر شتابدار باید مورد نظر قرار گیرد.

من نخست در سال ۱۹۹۳ یک نظریه ناموضعی درباره سیستم‌های شتابدار منتشر کردم. ناظر در حالت کلی، حافظه شتاب گذشته خود را با خود دارد. از رابطه عمیق بین لختی و گرانش چنین برمی‌آید که گرانش هم می‌تواند ناموضعی باشد. طبیعی‌ترین رویکرد برای ارائه یک نظریه گرانش ناموضعی، بزرگ‌سازی چارچوب نسبیت عام از طریق معرفی میدانی با یک چارچوب مرجح است. با استفاده از چهارتایی‌ها (tetrads)، می‌توان معادلات نسبیت عام اینشتین را به صورتی نوشت که شبیه الکترو دینامیک ماکسول باشد. این کار مستلزم یک چارچوب هندسی گسترش‌یافته موسوم به توازی از دور (teleparallelism) است. در این چارچوب، معادل دورموازی (teleparallel) نسبیت عام (TEGR) را داریم که نظریه پیمانه‌ای گروه انتقال‌های فضا زمان است. پس TEGR به طور صوری مشابه الکترو دینامیک است. از این تشابه صوری می‌توان برای ناموضعی کردن TEGR، به قیاس الکترومغناطیس ناموضعی محیط، استفاده کرد. یعنی وابستگی به گذشته از طریق یک رابطه سازنده ناموضعی، در تشابه نزدیک با الکترو دینامیک محیط، وارد کار می‌شود.

الهام بخش‌ترین کشف نجومی ایران!

به یاد استاد جلال صمیمی



شانت باغرام

دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف



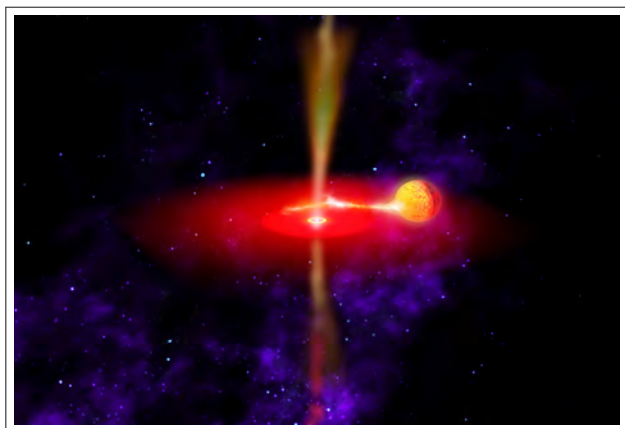
هیجان، جدی، دقیق و پدرا نه! استاد صمیمی با وجود محدودیت‌های حرکتی، که به دلیل سکته مغزی برایش ایجاد شده بود به دانشکده فیزیک می‌آمد. به خاطر داریم که چگونه، در دوران بیماری، درس نجوم انرژی‌های بالا را با دشواری ولی با فراست و عشقی بی‌کران درس می‌داد. اشک‌های ایشان را در سرکلاس از هیجان کشف و فهم طبیعت به خاطر داریم.

جلال صمیمی پس از اخذ مدرک دکتری از دانشگاه اکلاهامای آمریکا در دهه پنجاه خورشیدی به ایران برگشت. وی ابتدا در دانشگاه مشهد استادی کرد، سپس پس از یک دهه وقفه ناخواسته در کار دانشگاهی به دانشکده فیزیک دانشگاه صنعتی شریف پیوست.

انسان‌های بزرگ چنان زندگی می‌کنند که قدم‌هایشان بر خاک سرزمینشان احساس نشود؛ سبکبال، آرام، متین، صبور و با آرزوهای بزرگ. جامعه فیزیک ایران از خوشبخت‌ترین جوامع است زیرا از این بزرگان کم ندارد. یکی از ستاره‌های پرفروغ آسمان فیزیک ایران استاد جلال صمیمی بود و هست! مردی از خطه زابل که دل در گروه فهم کیهان و پیشرفت ایران بسته بود.

در خرداد ماه ۱۳۹۹ متأسفانه این مرد بزرگ را از دست دادیم، ولی خوشبختانه راه و روش و میراث وی در نزدمان به صورت گنجینه‌ای گرانبها باقی است. او انسانی بود که باور داشت: «آموزش بزرگترین کشف انسان متمدن است»، آموزگاری که با عشق درس می‌داد، با

می توان از مسیر کیلری ستاره های نزدیک ابرسیاهچاله استفاده کرد و این ایده ای است که دو گروه گنزل و گِر از آن استفاده کردند. اما سیاهچاله هایی با چند برابر جرم خورشید را چگونه می توان یافت؟



تصویری هنرمندانه از GX 339-4

این سؤالی است که جایزه نوبل امسال را به پژوهش های جلال صمیمی متصل می کند. دکتر صمیمی و همکارانشان طی تحلیل داده های HEAO1 موفق به کشف کاندید سیاهچاله های اخترفیزیکی شدند، کاندیدی به نام GX 339-4. این پژوهش ارزشمند در مقاله ای در مجله نیچر در سال ۱۹۷۹ میلادی چاپ شد [2]. اما داستان از چه قرار است؟ در دهه های ۷۰ و ۸۰ میلادی قرن قبل، ناسا پروژه ای به نام «برنامه رصدخانه نجوم انرژی های بالا» (High Energy Astron-omy Observatory Program) — HEAO — راه اندازی کرد. این برنامه شامل سه فاز بود و با ارسال ماهواره های فضایی در مدارهایی با ارتفاع پایین شروع شد. این ماهواره ها مجهز به آشکارسازهای پرتو ایکس و پرتوهای گاما بودند.

صمیمی و همکاران داده های رصدی پرتو ایکس از یک منبع کهکشانی را که در دو بازه ۴ روزه در سال ۱۹۷۷ و ۱۹۷۸ جمع آوری شده بود با دقتی مثال زدنی تحلیل کردند. تلسکوپ فضایی HEAO1 این نقطه از آسمان را ۲۰ بار و هر بار در بازه زمانی ۱۰ ثانیه ای رصد کرده بود. حیرت انگیز آن که صمیمی و همکارانش یافتند که این منبع کهکشانی دارای دوره تناوب وابسته به زمان و شارهای ایکس (X-ray flares) متغیر در بازه زمانی ۰/۳۲ الی ۱/۲۸ ثانیه است. این مشاهده با قدرت تفکیک زمانی ۳۲۰ میلی ثانیه و در بازه انرژی های ۱ تا ۲۰ کیلو الکترون ولت انجام شده بود. تصویر این مشاهده و تحلیل داده ها برگرفته از مقاله صمیمی و همکاران را در شکل صفحه بعد ببینید.

صمیمی بنیان گذار «رصدخانه البرز» در دانشگاه شریف برای کشف پرتوهای کیهانی است. داستان پرفراز و نشیب رصدخانه البرز و آغاز پژوهش در این رشته علمی، معرفی ده ها متخصص این حوزه در ایران که همگی اخلاف شایسته ایشان هستند، خود داستانی است هیجان انگیز و درخور توجه که شایسته بحث و نوشتارها و جستارهای بسیاری است. شایان ذکر است که مقالات استاد صمیمی با همکاران بین المللی و ملی و دانشجویانش در حوزه پرتوهای گاما، منابع پرانرژی پرتوهای کیهانی و توزیع این منابع پرانرژی از درخشان ترین فعالیت های پژوهشی فیزیک ایران در دهه های گذشته است، پژوهش هایی که برمبنای کار تجربی، هوشمندی و شهود فیزیکی، استمرار در تحقیق، صبر و دقت فراوان به دست آمده است.

اما داستان استاد با مفهوم سیاهچاله ها نیز گره خورده است!

نیمی از جایزه نوبل فیزیک در سال ۲۰۲۰ میلادی به راجر پنروز ریاضی-فیزیکدان انگلیسی داده شد. پنروز نشان داده است که سیاهچاله ها منطبق بر پیش بینی نسبیت عام هستند. نیمه دیگر این جایزه به دو گروه رصدی به سرپرستی «راینهارد گنزل» و «آندریا گِر» رسید [1]. این دو گروه رصدی با استفاده از تکنیک های بسیار پیشرفته رصدی چون اپتیک سازگار (adaptive optics) نشان دادند که جسم فشرده ای با جرم بیش از یک میلیون برابر جرم خورشید در مرکز کهکشان راه شیری وجود دارد. به احتمال بسیار فراوان این جسم فشرده که «کمان A» (Sagittarius A*) نامیده می شود ابرسیاهچاله ای است در مرکز کهکشان راه شیری.

این جایزه نوبل نتیجه یک کوشش علمی است به قدمت بیش از یک قرن! نسبیت عامی که در ۱۹۱۵ توسط اینشتین فرمول بندی شده بود، آغاز داستان است. نیم قرن بعد در سال ۱۹۶۵ پنروز نشان داد که «تکینگی» ها و «افق» دو مفهوم وابسته به سیاهچاله ها اجتناب ناپذیرند و نیم قرن بعد از آن، تلاش صدها منجم، فیزیکدان، و مهندس به نتیجه نشست. آنها نشان دادند که واقعا جرم فشرده ای در مرکز کهکشان وجود دارد.

اما سیاهچاله ها در کیهان کم نیستند! مدل های نظری و شبیه سازی هوشمندانه اخترفیزیکی پیش بینی می کنند که ستاره هایی به اندازه کافی پر جرم در انتهای عمر خود، پس از اتمام سوخت هسته ای به سیاهچاله تبدیل می شوند. در این صورت باید انتظار داشته باشیم که در کهکشان خودمان نیز از سیاهچاله های اخترفیزیکی با جرم هایی در حدود چند تا چند ده برابر خورشید به وفور یافت شود.

اما این سیاهچاله ها را چگونه می توان دید؟ روش کشف سیاهچاله های مرکز کهکشان با توجه به جرم زیاد آنها متفاوت است.

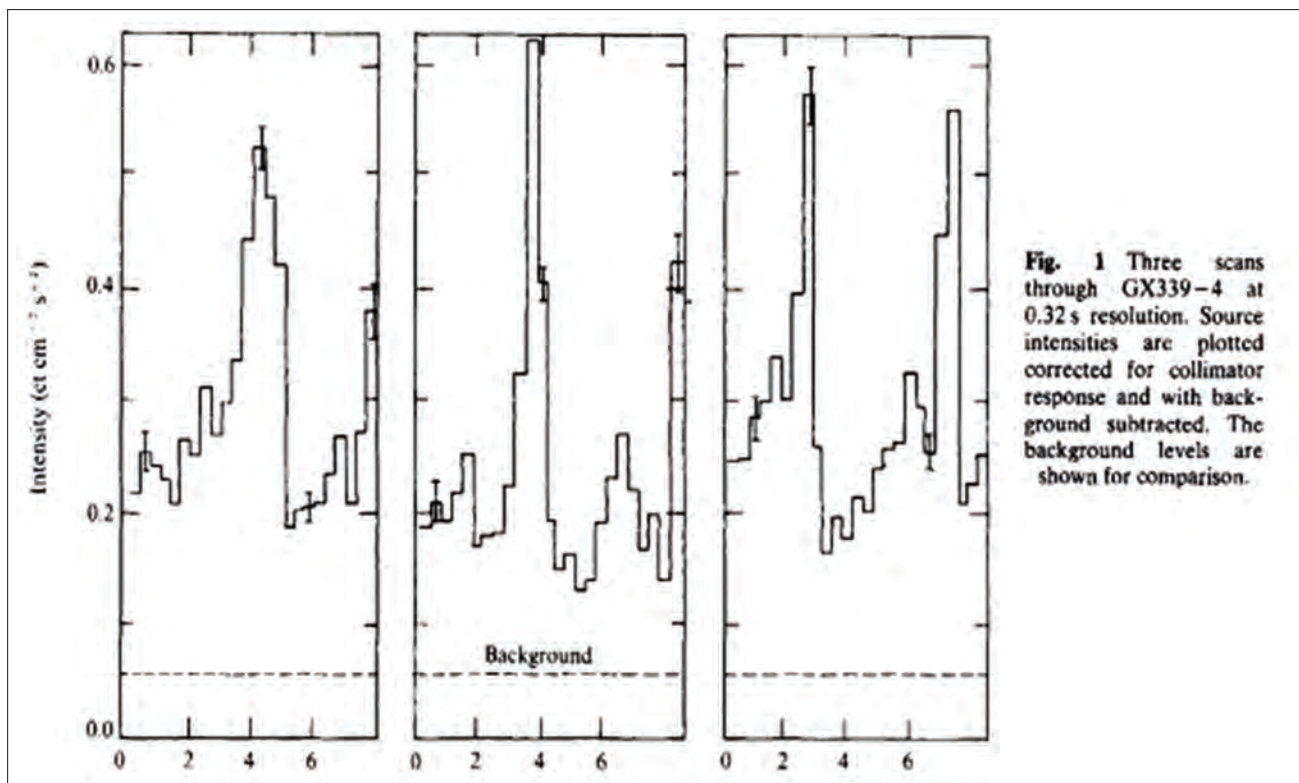


Fig. 1 Three scans through GX339-4 at 0.32 s resolution. Source intensities are plotted corrected for collimator response and with background subtracted. The background levels are shown for comparison.

و می‌دانیم که کشف صمیمی و همکارانش صحیح بوده و یافته‌هایشان مهم و درخشان!

... و چهل سال بعد از این کشف، جامعه علمی وجود سیاهچاله‌ها را به رسمیت می‌شناسد و جایزه نوبل به آن اهدا می‌کند تا ما براین باور باشیم که این کشف بزرگ توسط استاد صمیمی، الهام‌بخش‌ترین کشف نجومی ایران در دهه‌های گذشته است.

یاد استاد صمیمی، این مرد متین و صبور و عاشق ایران گرمی! ■

مراجع

1. <https://www.nobelprize.org/prizes/physics/2020/summary/>
2. J. Samimi, G.H. Share, K. Wood, D. Yentis, J. Meekins, W.D. Evans, S. Shulman, E.T. Byram, T.A. Chubb, and H. Friedman, *GX339-4: A new black hole candidate*, *Nature* **278** (29 March 1979), 434-436.

این مشاهده بسیار پراهمیت بود! زیرا نیمی از ستاره‌های کهکشانی به صورت دوتایی هستند؛ در نتیجه، سیاهچاله‌ها نیز می‌توانند در سامانه‌های دوتایی باشند. به معنایی دیگر، یک سیاهچاله همدم یک ستاره است. از این رو دیسک برافزایشی (accretion disk) بین ستاره و سیاهچاله ایجاد می‌شود و ماده شروع به فروریزش در سیاهچاله می‌کند. این سازوکار برافزایش باعث تولید جت‌های پرنرژی در طول موج ایکس می‌شود، جت‌هایی با دوره تناوب متغیر که بر اساس اثرات گرانشی و موقعیت دوتایی نسبت به یکدیگر ایجاد می‌شود. بی‌شک وجود میدان‌های مغناطیسی قوی و پلاسمای داغ در دیسک برافزایش فیزیکی، این پدیده‌ها را پیچیده‌تر نیز می‌کند.

صمیمی و همکارانش در انتهای مقاله اشاره می‌کنند که رفتار دوره تناوب متغیر منبع ایکس و درخشندگی آن بسیار شبیه ماکیان ایکس-یک (Cygnus X-1) است که در سال ۱۹۶۴ کشف شده بود و جامعه علمی آن را اولین سیاهچاله دوتایی می‌دانست. جالب اینکه بدانیم که در چهل سال گذشته این منبع اشعه ایکس که در فاصله ۱۲ هزار سال نوری از ما قرار گرفته است بارها و بارها توسط مشاهده‌گرهای انرژی‌های بالا و حتی در مادون سرخ (Wide-field



ستاره‌زایی و تحول کهکشان‌ها

فاطمه طباطبایی

پژوهشکده نجوم

را از محیط میان‌کهکشانی یا از کهکشان‌های اطراف تأمین می‌کند. اما در اثر فعالیت‌ها و بازخوردهای مربوط به سیاهچالهٔ پرجرم در مرکز کهکشان یا تحول و مرگ ستارگان پرجرم، این گاز گرم شده و یا به صورت باد به بیرون از مناطق ستاره‌ساز کهکشان به سوی هاله و محیط بین کهکشانی پرتاب شده و از دسترس خارج می‌شود. در این مدل‌ها، خاموشی کهکشان‌ها و کند شدن آهنگ ستاره‌زایی آنها به واسطهٔ بازخورد ذکر شده و یا کند شدن جذب گاز سرد از محیط اطراف صورت می‌گیرد [2]. اما این نظریه با پیشرفت تکنولوژی رصدی در طول موج‌های رادیویی به چالش کشیده شده است. مشاهدات اخیر در مورد ابرهای مولکولی با تلسکوپ مدرن آما (ALMA, the Atacama Large Millimeter/submillimeter Array, <https://www.almaobservatory.org/en/home>) دال بر این است که محتوای گاز سرد با آهنگی کندتر از میزان ستاره‌زایی با زمان کیهانی افت کرده است بدین معنی که همواره سوخت اولیه به میزان کافی برای ستاره‌زایی در دسترس بوده است اما به دلایلی نامعین از زایش ستارگان پرجرم بازمانده است [3].

اهمیت محیط میان‌ستاره‌ای

منظور از محیط میان‌ستاره‌ای، اغلب گاز و گرد و غباری است که خلاء بین سیستم‌های ستاره‌ای در کهکشان‌ها را پر می‌کند. این گاز و گرد و غبار به طور یکنواخت در فضای میان‌ستاره‌ای توزیع نشده و تغییرات قابل توجهی را در چگالی، دما، و حالت یونیزاسیون نشان

چگونگی شکل‌گیری و تکامل کهکشان‌ها از جمله مسائل بنیادی است که نجوم و اخترفیزیک را با مبحث تشکیل ساختار در کیهان‌شناسی مرتبط می‌کند. تشکیل اولین کهکشان‌ها به صورت تشکیل یک جهان ناهمگن از جهان آغازی همگن بوده است که در اثر اختلالات کوچک کوانتومی پس از انفجار بزرگ در عالم رخ داده است. در این زمینه نظریه‌ها و مدل‌های گوناگونی تا کنون ارائه شده است ولی نظریات باید بتوانند در اولین قدم خواص مشاهده شده کهکشان‌ها را توضیح دهند. رصدها نشان می‌دهند که کهکشان‌های اولیه در ابتدا کوچکتر و کم‌جرم‌تر اما پر نورتر بوده‌اند و با گذشت زمان با اینکه تعداد ستاره‌های آنها افزایش یافته است، کم‌سوتر شده‌اند چراکه ستارگان پرجرم و پرنور که نقش مهمی در انرژی تابشی یک کهکشان دارند با آهنگ کندتری به وجود آمده‌اند. این مکانیسم در گروهی از کهکشان‌ها شدیدتر بوده به طوری که اکنون تنها دارای ستارگان پیر با تابش مرئی و کم‌انرژی قرمز رنگ هستند و اصطلاحاً خاموش شده‌اند [1]. کندشدگی ستاره‌زایی در عالم و خاموشی کهکشان‌ها از مهم‌ترین چالش‌های نظریه‌ها و مدل‌های تشکیل و تحول کهکشان‌ها هستند.

نظریهٔ رایج

ستارگان در اثر رمبش گرانشی ابرها و گازهای مولکولی سرد و چگال در محیط میان‌ستاره‌ای تشکیل می‌شوند. بنابراین، وجود این گازهای سرد به عنوان سوخت لازم برای تشکیل ستاره، موضوع اصلی بحث است. در مدل‌های پراستناد امروزی، هر کهکشان گاز مورد نیاز ستاره‌زایی‌اش

می‌دهد. محیط میان‌ستاره‌ای شامل مواد اولیه‌ای است که ستارگان جدید از آنها تشکیل می‌شوند و با مرگ ستاره‌ها، مواد با فلزیت بالاتر به محیط میان‌ستاره‌ای باز می‌گردند. این چرخه مواد در محیط میان‌ستاره‌ای نقش مهمی در تکامل کهکشان‌ها دارد. مؤلفه‌های دیگری که با انفجار و مرگ ستارگان به این محیط اضافه شده یا تقویت می‌شوند عبارت‌اند از میدان مغناطیسی و ذرات باردار نسبیتی (پرتو کیهانی). همچنین بازخورد ستاره‌زایی، علاوه بر انرژی تابشی گرمایی، میزان زیادی تلاطم وارد محیط می‌کند. مطالعات در مورد کهکشان‌های نزدیک نشان می‌دهند که فشار و چگالی انرژی میدان مغناطیسی یا پرتو کیهانی در حدود چگالی انرژی تلاطمی گاز است و از انرژی گرمایی حاصل از جمع فازهای گازی (خنثی، یونیزه، اتمی، مولکولی) بیشتر است [4]. این موضوع نمایانگر اهمیت مؤلفه‌های غیر گرمایی (پرتو کیهانی، میدان مغناطیسی، و تلاطم) در کنترل تشکیل ساختار در محیط میان‌ستاره‌ای است که محل زایش ستارگان نسل بعدی است. علی‌رغم اهمیت این مؤلفه‌ها، به دلیل پیچیده شدن معادلات در کارهای نظری از یک سو و دشواری رصد و آشکارسازی از سوی دیگر، تاکنون اکثر مطالعات بدون در نظر گرفتن این مؤلفه‌ها انجام شده‌اند. خوشبختانه هم‌اکنون در عصر طلایی تلسکوپ‌ها، آرایه‌ها، و تداخل‌سنج‌هایی هستیم که می‌توان با دقت قابل‌توجهی مؤلفه‌های مختلف محیط میان‌ستاره‌ای در کهکشان‌ها را ردیابی کرد و به بررسی تحول آنها همزمان با تحول ستاره‌زایی پرداخت، تلسکوپ‌هایی همچون آلفا، سوفیا (SOFIA, Stratospheric Observatory for Infrared Astronomy, https://www.nasa.gov/mission_pages/SOFIA/index.html), تلسکوپ فضایی جیمز وب (James Web Space Telescope, https://www.nasa.gov/mission_pages/webb/main/index.html), و SKA، بزرگترین آرایه رادیویی جهان (SKA, Square Kilometer Array, <https://www.skatelescope.org/>).

پروژه‌های مرتبط در پژوهشکده نجوم

نقش محیط میان‌ستاره‌ای در تحول ستاره‌زایی و خاموشی کهکشان‌ها از مباحث مهم روز در حوزه نجوم و اخترفیزیک است. پژوهشکده نجوم با رهبری و همچنین مشارکت در چندین پروژه بزرگ بین‌المللی از پیش‌تازان این حوزه در جهان است. مطالعه کهکشان‌های دور و نزدیک در طیف وسیعی از طول‌موج‌های تابشی از رادیویی تا ایکس با مدرن‌ترین تلسکوپ‌های دنیا و همچنین پیشبرد مطالعات نظری

با استفاده از روش‌های عددی و شبیه‌سازی از جمله فعالیت‌های این پژوهشکده می‌باشند. به عنوان نمونه می‌توان به پروژه‌های زیر اشاره کرد.

اندازه‌گیری آهنگ ستاره‌زایی در کهکشان‌ها با استفاده از تابش پیوستار رادیویی

تعیین آهنگ ستاره‌زایی همواره یکی از چالش‌های تکنیکی بوده است. تاکنون تابش‌های فرابنفش و مرئی بیشتر مورد استفاده قرار می‌گرفته است ولی این روش‌ها به خاطر وجود گرد و غبار میزان نادرست و کمی را به دست می‌دهند. امواج رادیویی از این نقص به دور هستند و می‌توان با رصدهای رادیویی این آهنگ را با دقت خوبی اندازه‌گیری کرد. به عنوان مثال، ما برای اولین بار نشان داده‌ایم که ثبت پیوستار رادیویی کل در بازه طول‌موج‌های یک تا ده سانتیمتری یک سنج دقیق از آهنگ ستاره‌زایی کهکشان‌هاست [5].

مساحی تابش‌های اتمی و مولکولی و مطالعه یونیزاسیون، دما، و چگالی فازهای مختلف محیط میان‌ستاره‌ای

شناخت ما از شرایط فیزیکی و شیمیایی فازهای مختلف ماده در محیط میان‌ستاره‌ای به شدت وابسته به مشاهدات در طول‌موج‌های فروسرخ و رادیویی است. طیف‌سنجی با تلسکوپ‌های فضایی اسپیتزر (Spitzer) و هرشل (Herschel) کمک شایانی به فهم ما از فراوانی‌های شیمیایی و نحوه سرمایش، گرمایش، و یونیزاسیون کرده‌اند. همچنین ما با استفاده از تلسکوپ‌های زمینی همچون ایرام (IRAM 30-m telescope, <https://www.iram-institute.org/EN/30-meter-tel-escope.php>) در اسپانیا و فرانسه و آرایه آلفا در شیلی و افلزبرگ (Effelsberg 100-m telescope, <https://www.mpifr-bonn.mpg.de/en/effelsberg>) در آلمان به مطالعه محتوای گازهای مولکولی و اتمی و چگونگی توزیع آنها در کهکشان‌های نزدیک پرداخته و در پیشبرد این شاخه نسبتاً جدید نجوم سهم هستیم.

نقشه‌برداری از تابش گرد و غبار میان‌ستاره‌ای

ذرات گرد و غبار، علی‌رغم نقش آنها در کم‌سویی و پنهان کردن تابش مرئی اجرام، نقش سازنده‌ای در محیط میان‌ستاره‌ای دارند. در واقع، وجود آنها برای تشکیل مولکول‌ها از اتم‌ها لازم است و به آن سرعت

بررسی قابلیت‌های این تلسکوپ در مطالعه نقش محیط میان‌ستاره‌ای و میان‌کهکشانی در تحول ستاره‌زایی و تحول کهکشان‌ها در دست دارد. همچنین این پژوهشکده در چالش‌های مربوط به پردازش داده‌های این آرایه شرکت جسته و نتایج این مطالعه به‌تازگی به چاپ رسیده است [7]. ■

مراجع

1. S. M. Faber, C.N.A. Willmer, C. Wolf, D.C. Koo, B.J. Weiner, J.A. Newman, M. Im, A.L. Coil, and C. Conroy, *Galaxy Luminosity Functions to $z=1$ from DEEP2 and COMBO-17: Implications for Red Galaxy Formation*, The Astrophysical Journal **665**(1) (2007), 265–294.
2. D. Kereš, N. Katz, R. Davé, M. Fardal, and D.H. Weinberg, *Galaxies in a simulated Λ CDM universe – II. Observable properties and constraints on feedback*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **396**(4) (2009), 2332–2344.
3. L.J. Tacconi, R. Genzel, and A. Sternberg, *The Evolution of the Star-Forming Interstellar Medium Across Cosmic Time*, Annual Review of Astronomy and Astrophysics **58** (2020), 157–203.
4. R. Beck, *Magnetic fields in spiral galaxies*, The Astronomy and Astrophysics Review **24** (2016), 4.
5. F.S. Tabatabaei, E. Schinnerer, M. Krause et al., *The Radio Spectral Energy Distribution and Star-formation Rate Calibration in Galaxies*, Astrophysical Journal **836** (2017), 185.
6. F.S. Tabatabaei, P. Minguez, M.A. Prieto, and J.A. Fernández-Ontiveros, *Discovery of massive star formation quenching by non-thermal effects in the centre of NGC 1097*, Nature Astronomy **2** (2018), 83.
7. A. Bonaldi, M. Brüggen, S. Burkutean et al., *Square Kilometre Array Science Data Challenge 1: analysis and results*, Monthly Notices of the Royal Astronomical Society **500**(3) (2021), 3821–3837.

می‌بخشد. همان‌طور که اشاره شد، ستارگان پیش از تشکیل به فاز مولکولی نیاز دارند؛ بنابراین می‌توان گفت که ذرات غبارنقش مهمی در ستاره‌زایی دارند. آنها همچنین ردیاب خوبی از محتوای گاز سرد چگال هستند که به دلیل کدری زیادشان از چشم آشکارسازهای گاز مولکولی دور مانده‌اند. ما در چندین پروژه به بررسی پارامترهای فیزیکی غبار همچون جرم و دما و همبستگی آن با دیگر اجزای محیط میان‌ستاره‌ای می‌پردازیم.

مطالعه توزیع و شدت میدان مغناطیسی در کهکشان‌ها

میدان مغناطیسی در کیهان حضور فراگیری دارد، از زمین و خورشید گرفته تا ستارگان و محیط میان‌ستاره‌ای در کهکشان‌ها و محیط‌های میان‌کهکشانی، گرچه هنوز منشاء اولیه مغناطیس کیهانی ناشناخته است. بیشترین اطلاعات امروزی ما از وجود میدان مغناطیسی در کهکشان‌ها مدیون رصدهای رادیویی است چرا که اندازه‌گیری قطبش امواج ناشی از این میدان در طول‌موج‌های رادیویی عملی‌تر و در دسترس‌تر بوده است. همچنین تابش سینکروترون از کهکشان‌ها که ناشی از این میدان است در طول‌موج‌های رادیویی قابل دریافت است. ما به‌تازگی نشان داده‌ایم که میدان مغناطیسی می‌تواند مانع تشکیل ستاره‌های پرجرم در مرکز کهکشان‌ها شود که نشان‌دهنده اهمیت آن در تحول ستاره‌زایی است [6].

مشارکت علمی در ساخت بزرگترین تلسکوپ رادیویی جهان

آرایه یک کیلومتر مربعی (SKA) در واقع مرکب از دو آرایه در کشورهای استرالیا و آفریقای جنوبی است که هریک به مساحت حدود یک میلیون مترمربع در دو بازه بسامدی متفاوت عمل می‌کنند. هر یک از این آرایه‌ها شامل هزاران آنتن یا بشقاب رادیویی است تا به حساسیت حدود ۵۰ برابر حساسیت رصدهای امروزی دست یابد، و همچنین سرعت پایش آسمان آن بیش از ده هزار برابر رصدهای کنونی باشد. آهنگ تولید داده در فاز اول این پروژه حدود سه ترابایت بر ثانیه تخمین زده شده است. بنابراین انتقال، نگهداری، و پردازش داده‌ها از چالش‌های اصلی این پروژه هستند. در حال حاضر ۱۳ کشور به طور رسمی و بیش از ۱۰۰ موسسه پژوهشی از سراسر دنیا در این پروژه عضو هستند و این تعداد در حال رشد است پژوهشکده نجوم هم با اینکه هنوز به طور رسمی عضو آن نیست حضور فعال در برنامه‌های مربوطه دارد، به طور مثال، هدایت یک کارگروه علمی را در زمینه



کیهان‌شناسی مدرن

از جهل مرکب به جهل بسیط

یا چطور جهان را با شش عدد توصیف کنیم؟

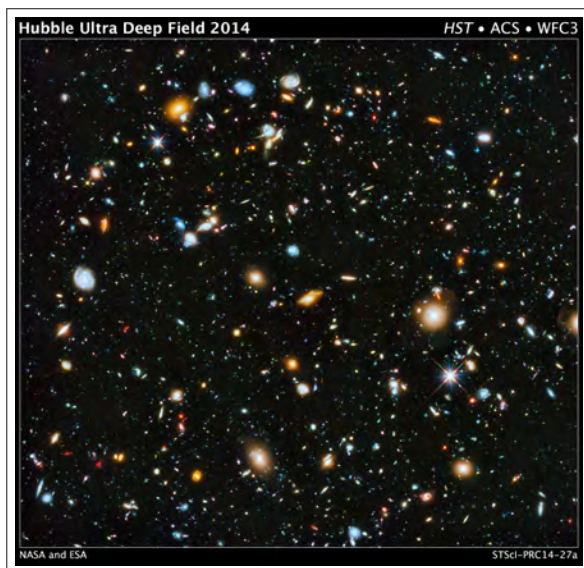
محمدحسین نامجو
پژوهشکده نجوم

مقیاس‌هاست که انتظار می‌رود با تقریب خوبی برقرار باشد. شواهد متعددی هم این فرضیه را تأیید می‌کند. یک مورد ساده آن این است که اگر با یک تلسکوپ بسیار قوی در جهات مختلف به آسمان شب نگاه کرده و تعداد کهکشان‌ها را در یک پنجره کوچک بشماریم، این تعداد در جهات مختلف تقریباً یکسان خواهد بود. نکته شگرف دیگر راجع به کیهان این است که کیهان در حال انبساط هم هست، یعنی با گذشت زمان بزرگتر شده و فاصله کهکشان‌ها بیشتر می‌شود. علم

کیهان‌شناسی — علم مطالعه کل کیهان — علی‌رغم کنجکاوای همیشگی بشر نسبت به این موضوع، یک علم مدرن محسوب می‌شود. دلیل آن، توسعه نظری و پیشرفت‌های قابل توجه در حوزه فناوری در سده اخیر است که این امکان را فراهم آورده تا به معنای واقعی دریافتی از کیهان — و نه صرفاً اجزای تشکیل‌دهنده آن — داشته باشیم. با اینکه کیهان یک موجود بسیار پیچیده است، می‌توان گفت که تصور امروزی ما از کیهان در نهایت سادگی است، به این معنا که تنها با شش پارامتر می‌توان به خوبی آن را در چارچوب نظریه‌های فیزیکی توصیف کرد. در این مقاله به بحث راجع به معنای این گفته، این‌که این شش پارامتر چه هستند و همچنین برخی دیگر از جنبه‌های کیهان‌شناسی می‌پردازم که اولاً با زبان ساده قابل بیان هستند و ثانیاً می‌توانند زیبایی‌ها و چالش‌های این مبحث را نشان دهند. با وجود این، سعی می‌کنم که دقت علمی فدای جذابیت نشود. همچنین، به برخی مسائل فلسفه علم در ارتباط با کیهان‌شناسی اشاراتی بسیار کوتاه خواهم داشت.

۱. مقدمه

شناخت جهان در بزرگترین مقیاس خود هدف اصلی علم کیهان‌شناسی است. جهان — تا آنجایی که برای ما قابل مشاهده است — شامل میلیاردها کهکشان است که هر کهکشان خود مجموعه‌ای از میلیاردها ستاره و منظومه‌های سیاره‌ای است (شکل ۱). کهکشان راه شیری تنها یک نمونه از این مجموعه‌های عظیم ستاره‌ای است که ما در آن قرار داریم. یک فرض اساسی در مورد جهان، همگنی (یکنواختی در نقاط مختلف) و همسانگردی (یکسان در جهات مختلف) آن در بزرگترین



شکل ۱. تصویری از ناحیه کوچکی از عمق کیهان با حدود ده‌هزار کهکشان که توسط تلسکوپ فضایی هابل گرفته شده است. (منبع: hubblesite.org).

کیهان‌شناسی در قرن اخیر با مطالعه این سیستم پیچیده (که خود ما هم جزئی از آن هستیم) به موفقیت‌های عظیمی دست یافته است که درک ما را از جهان پیرامونی دگرگون کرده است. در کنار این موفقیت‌ها، چالش‌هایی نیز برای این حوزه از علم وجود دارد که با برخی از آنها در حوزه‌های دیگر علم مواجه نیستیم. در ادامه این مقاله به‌طور مختصر به برخی از این موفقیت‌ها و چالش‌ها می‌پردازم. عددهای مذکور در این مقاله تقریبی هستند ولی با یک جستجوی ساده در اینترنت می‌توان مقادیر دقیق‌تر آنها را یافت.

برای توصیف کیهان از دو ابزار نظری استفاده می‌شود. یکی نسبیت عام (general relativity) اینشتین است که نظریه‌ای است برای توصیف نیروی گرانشی. در این مقاله سعی شده است که از روابط ریاضی اجتناب شود اما صرفاً برای افرادی که به زیبایی‌های ریاضی مسئله علاقه‌مند هستند (و برای توضیح چند مفهوم به زبان ساده)، اشاره می‌کنم که معادلات نسبیت عام را می‌توان به‌صورت فشرده با رابطه زیر نشان داد:

$$M_{pl}^2 G_{\mu\nu} = T_{\mu\nu}.$$

این رابطه هندسه فضا و زمان (یا به تعبیر رسمی‌تر، فضا-زمان) و دینامیک حاکم بر آن را به مقدار و نوع ماده موجود در فضا-زمان ربط می‌دهد. M_{pl} عدد ثابتی است به نام جرم پلانک، معادل حدود 10^{-6} گرم. $G_{\mu\nu}$ تانسور اینشتین است که انحنا و هندسه فضا-زمان را تعیین می‌کند و $T_{\mu\nu}$ تانسور انرژی-تکانه است که نوع و مقدار ماده درون فضا-زمان را مشخص می‌کند. به‌عنوان مثال، سهم چگالی انرژی (انرژی در واحد حجم) هر مؤلفه تشکیل‌دهنده مواد عالم و همچنین فشاری که هر مؤلفه ایجاد می‌کند درون این تانسور جای می‌گیرد. بنابراین چگالی انرژی یک کمیت بسیار مهم است که مثلاً - اگر این معادلات را برای کل کیهان به کار ببریم - آهنگ انبساط عالم را تعیین می‌کند. در مورد اینکه چه نوع موادی در کیهان وجود دارد و هر یک چه سهمی از چگالی انرژی کل عالم دارند در بخش‌های بعد صحبت خواهیم کرد. معادله بالا در واقع یک معادله دیفرانسیل است که برای حل آن، علاوه بر ماده موجود در عالم، احتیاج به شرایط اولیه خواهیم داشت. خواهیم دید که هر دو مسئله (یعنی نوع و مقدار ماده و همچنین شرایط اولیه کیهان) اهمیت اساسی دارند و با چالش‌هایی هم مواجه هستند.

همان‌طور که اشاره شد، برای توصیف تحول کیهان، به چند نوع ماده احتیاج است. اما به عنوان یک مثال ساده برای درک بهتر مطلب، جهانی را در نظر بگیرید که تنها با ذرات با سرعت بسیار پایین (به اصطلاح، ذرات غیرنسبیتی) پر شده است. در این صورت، اگر زمان را با t نشان دهیم، مقدار انبساط کیهان رابطه‌ای به صورت $t^{2/3}$ با زمان دارد. این بدان معناست که اگر عمر کیهان ده برابر شود، ابعاد کیهان

حدود چهار و نیم برابر می‌شود! حالا جهانی را در نظر بگیرید که ذرات درون آن سرعت بسیار بالا داشته باشند (اصطلاحاً نسبیتی باشند). در این صورت مقدار انبساط کیهان علاوه بر کم کردن چگالی عددی این ذرات (با بزرگ شدن حجم) سرعت آنها را نیز کاهش می‌دهد. این بدین معناست که چگالی انرژی این ذرات (که هم به چگالی عددی و هم به سرعت آنها وابسته است) سریع‌تر افت می‌کند (نسبت به زمانی که جهان پر از ذرات غیرنسبیتی بود، که در این صورت تنها چگالی عددی آنها اهمیت پیدا می‌کرد). در نتیجه این افت سریع، آهنگ انبساط عالم هم سریع‌تر افت می‌کند. در این صورت رابطه انبساط کیهان با زمان به‌صورت $t^{1/2}$ خواهد بود، یعنی اگر عمر کیهان ده برابر شود، ابعاد کیهان حدود سه برابر خواهد شد.

دومین ابزار نظری که برای شناخت کیهان ضروری است، نظریه مربوط به ذرات بنیادی است - ذرات در ریزترین شکل آن که دیگر ساختار و اجزایی برایش تصور نمی‌شود. این نظریه تحت عنوان نظریه کوانتوم (یا به عبارت دقیق‌تر، نظریه میدان‌های کوانتومی) شناخته می‌شود. بدون دانش راجع به ذرات تشکیل‌دهنده عالم، نمی‌توان تحول کیهان از آغاز تا اکنون را به‌خوبی توضیح داد. به نظر من این یکی از شگفتی‌های علم کیهان‌شناسی است: برای توصیف جهان در بزرگترین مقیاس‌ها، نیاز اساسی به دانش درباره کوچکترین مقیاس‌ها داریم! البته، همان‌طور که خواهیم دید، به نظر می‌رسد ذرات کشف شده که به خوبی توسط نظریه کوانتوم (و تحت مدلی به نام مدل استاندارد ذرات بنیادی) توصیف می‌شوند، کافی نخواهند بود و شاید احتیاج به توسعه این نظریه یا ایجاد نظریه‌های جامع‌تر وجود داشته باشد.

با توجه به اینکه هر دو نظریه بنیادی علم فیزیک در کیهان‌شناسی نقش اساسی بازی می‌کنند، مسائل فلسفی مربوط به آنها نیز در این حوزه قابل طرح هستند. برای علاقه‌مندان به این نوع مباحث اشاره‌ای گذرا به چند مسئله مطرح‌شده (و نه همه آنها) می‌کنم بدون اینکه موضع‌گیری داشته باشم: الف) مساله تعینی (deterministic) بودن یا نبودن نظریه‌ها و به تبع آن، تحول جهان (با فرض اینکه نظریه‌ها توصیفی از جهان خارج ارائه می‌دهند، که خود این فرض هم قابل بحث و مناقشه است)، یکی از بحث‌های معروف و قدیمی در فلسفه علم بوده که در مورد هر دو نظریه قابل طرح است. در نسبیت عام مسائلی مانند تکینگی‌ها (singularities) و همچنین افق کوشی (Cauchy horizon) باعث می‌شود که جواب دادن به این سوال چندان ساده نباشد. در حوزه کوانتوم هم احتمالاتی بودن نظریه، چالشی برای تعینی بودن آن ایجاد می‌کند. ب) مسئله دیگر امکان و معنای ارائه پیش‌بینی در قالب نظریه‌هاست که باز هم - به خصوص در نسبیت عام - چالش‌برانگیز است. ج) موضوع مورد بحث دیگر امکان سفر

در زمان (با توجه به اینکه نظریه‌ها آن را منع نمی‌کنند) و تناقض‌های ناشی از آن است.

با در دست داشتن دو نظریه نسبیت عام و کوانتوم می‌توان در جهت توصیف کیهان و توجیه رصدهای کیهانی تلاش کرد که در بخش‌های بعد به آن می‌پردازم. خواهیم دید که علاوه بر پارامترهایی که از قبل شناخته شده و مقادیر آنها توسط آزمایش‌ها تعیین شده است (همانند مقادیر پارامترهای نظریه ذرات بنیادی که توسط شتابگرها تعیین شده‌اند)، به شش پارامتر جدید احتیاج داریم. با داشتن این شش پارامتر، می‌توان به‌خوبی داده‌های رصدی از تحول کیهان را با دقتی خوب توضیح داد.

۲. تاریخچه گرمایی کیهان

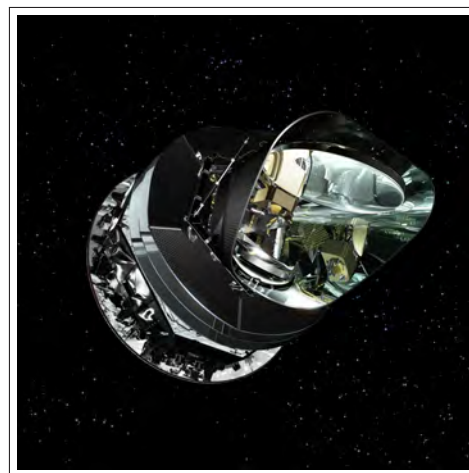
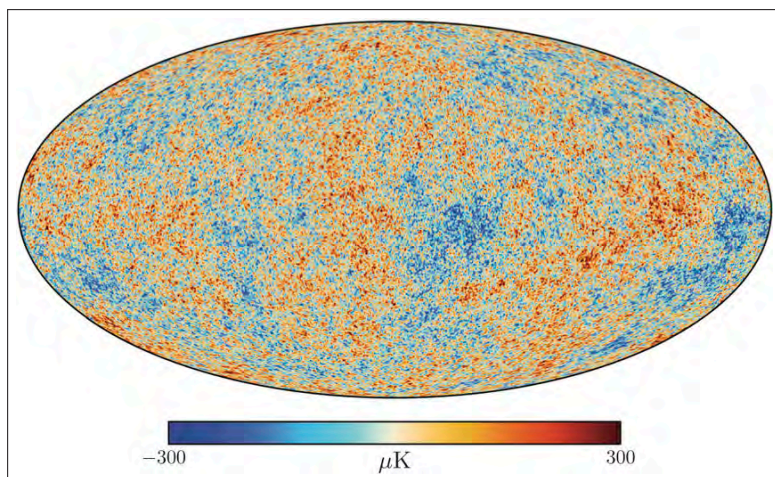
همان‌طور که اشاره شد، جهان کنونی در حال انبساط است. بنابراین با بازگشت به زمان گذشته جهانی با ابعاد کوچکتر خواهیم داشت. همان‌طور که اگر یک گاز که درون یک محفظه ایزوله قرار دارد را به آرامی فشرده کنیم، دمای گاز بالا می‌رود، اگر به کیهان یک دما نسبت داده و به گذشته برگردیم دمای کیهان بالاتر است. بنابراین می‌توان به جای زمان از دما به عنوان پارامتری که سن عالم را نشان می‌دهد استفاده کرد. هر قدر عمر کیهان بیشتر می‌شود، دمای آن کمتر می‌شود.^۱ به این دلیل، به تحول کیهان از زمانهای اولیه تا کنون، تاریخچه گرمایی گفته می‌شود. تاریخچه گرمایی کیهان دارای جزئیات بسیاری است که تنها به چند رخداد مهم در این بخش اشاره می‌شود [1].

اگر بخواهیم از آغاز کیهان شروع کنیم دچار یک مشکل اساسی می‌شویم. از آنجایی که جهان جواتر، داغتر و چگالت‌ر بوده است، اگر در زمان به عقب برگردیم، به نقطه‌ای می‌رسیم که چگالی انرژی کیهان آنقدر زیاد می‌شود که دو نظریه‌ای که برای توصیف کیهان به کار می‌بریم — یعنی نسبیت عام و نظریه کوانتوم — با شکست مواجه می‌شوند. در واقع در زمان‌های اولیه کیهان هیچکدام از دو نظریه برای توصیف کیهان، قابل اعتماد نیستند، چرا که هر دو نظریه را باید به دید نظریه‌های مؤثر (و نه دقیق) که به تقریب و در انرژی‌های به اندازه کافی پایین کار می‌کنند نگاه کرد. بنابراین ابزار نظری برای توصیف کیهان در لحظات اولیه آن — اگر بتوان برای آن آغازی در نظر گرفت — نخواهیم داشت. شاید یک نظریه جامع‌تر بتواند راهگشا باشد اما علی‌رغم چندین دهه تلاش دانشمندان، در این زمینه موفقیت چندانی حاصل نشده است. بنابراین — برخلاف چیزی که بعضاً ادعا می‌شود — در مورد آغاز عالم، علم مدرن تقریباً ساکت است! از بحث‌های فلسفی و شبه‌فلسفی در این مورد نیز صرف‌نظر می‌کنم.

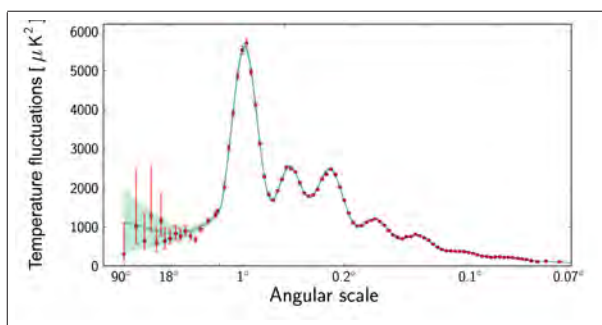
علی‌رغم این مسئله، اگر با تسامح یک نقطه آغازین برای کیهان تصور کنیم، می‌توان عمر کیهان را از زمان آغازین (یا آغاز زمان) در مراحل مختلف با استفاده از معادلات نسبیت عام محاسبه و بیان کرد. زمانی که کیهان بسیار جوان بود، به دلیل دمای بسیار زیاد، امکان ایجاد هیچ ساختاری وجود نداشت و تنها ذرات به بنیادی‌ترین شکل خود، انرژی جهان را حمل می‌کردند. با انبساط کیهان به تدریج جهان سرد شده و پس از گذشت حدود سه تا چهار دقیقه از نقطه آغاز کیهان، که دمای کیهان به حدود یک میلیارد درجه سانتیگراد رسید، سبک‌ترین هسته‌های اتم‌ها تشکیل شدند. اما به دلیل دمای بالا، هسته‌های اتم‌ها به صورت یونیزه باقی ماندند. انبساط عالم ادامه پیدا کرده تا زمان حدود ۳۸۰۰ سال از آغاز عالم — یا دمای حدود سه هزار درجه سانتیگراد — که جهان به اندازه کافی سرد شده است که ترکیب هسته‌ها با الکترون‌ها امکان‌پذیر شده و اتم‌های خنثی تشکیل شوند. در این زمان اتفاق بسیار مهم دیگری نیز رخ داده است: قبل از تشکیل اتم‌های خنثی، فوتون‌ها (امواج الکترومغناطیسی، نور) به شدت با الکترون‌ها برخورد و برهمکنش دارند و امکان فرار ندارند. اما پس از ترکیب الکترون‌ها با هسته‌ها و تشکیل اتم‌های خنثی، فوتون‌ها آزاد شده و در کیهان منتشر می‌شوند. نتیجه مهم این است که باید بتوان این فوتون‌های آزاد شده را که از نقاط دوردست کیهان شروع به حرکت کرده و الان — پس از گذشت میلیاردها سال — به ما رسیده‌اند مشاهده کرد. طیف فوتون‌های دریافتی از جهات مختلف کیهان با تقریب خوبی یکسان خواهد بود که نتیجه‌ای است از همگنی و همسانگردی کیهان در بزرگترین مقیاس‌ها. این فوتون‌ها در سال ۱۹۶۵ به‌طور اتفاقی توسط پنزیاس (Penzias) و ویلسون (Wilson) که در حال آزمودن یک آنتن برای هدفی دیگر بودند کشف شد. به این پدیده تابش زمینه کیهانی (cosmic microwave background radiation) گفته می‌شود. با توجه به جدا شدن فوتون‌ها از بقیه ماده، تحول این دو مؤلفه متفاوت خواهد بود و دمای متفاوتی نیز خواهند داشت. از این به بعد، مرسوم است که دمای کیهان را دمای مربوط به فوتون‌های تابش زمینه کیهانی در نظر بگیریم. از زمان کشف تابش زمینه کیهانی تاکنون، رصدهای متعددی با دقت‌های بالا در مورد آن انجام شده است که اطلاعات بسیار ارزشی راجع به کیهان در زمان‌های اولیه آن به‌دست داده است (به این دلیل که این تابش از زمان حدود ۳۸۰۰ سال از آغاز عالم به ما می‌رسند و اطلاعات آن زمان و قبل از آن را با خود حمل می‌کنند). به علاوه، برنامه‌های متعددی برای رصدهای با دقتی حتی بیشتر از این وجود دارد که برخی از آنها در آینده نزدیک به ثمر خواهند نشست.

گفته شد که تابش زمینه کیهانی به صورت همسانگرد دریافت

۱. این رابطه در برخی مواقع مانند فرایند بازگرمایش درست نخواهد بود اما راجع به این موارد خاص در این مقاله صحبت نخواهم کرد.



شکل ۲. نقشه افت‌وخیزهای تابش زمینه کیهانی که توسط ماهواره پلانک (سمت راست) از کره سماوی به دست آمده است. افت‌وخیزهای دمایی با واحد میکروکلوین نمایش داده شده و نقاط قرمز گرم‌تر و نقاط آبی سردتر بودن ناحیه‌های مختلف را نشان می‌دهند. (منبع esa.int).

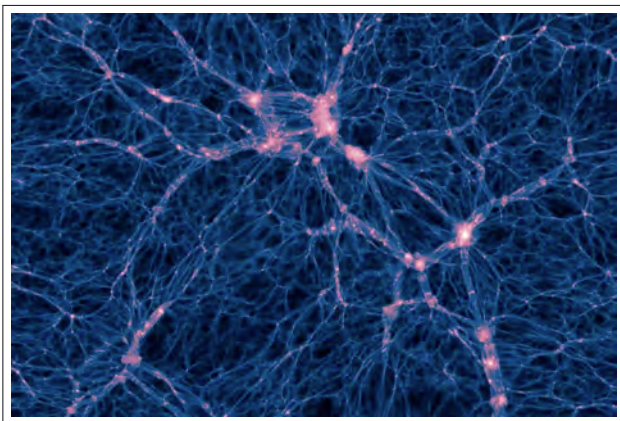


شکل ۳. طیف توان اندازه‌گیری شده توسط ماهواره پلانک. محور عمودی تابع همبستگی میانگین بین دو نقطه و محور افقی فاصله زاویه‌ای دو نقطه را نشان می‌دهد. منحنی سبز رنگ نیز نشان‌دهنده پیش‌بینی نظری با شش پارامتر اشاره شده در متن است. (منبع esa.int)

عالم (معادل دمای حدود ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد زیر صفر!) به بعد، ستاره‌زایی رخ می‌دهد و کهکشان‌ها شروع به تشکیل شدن می‌کنند. از این به بعد، ستاره‌ها جهان را که قبل از آن تاریک بود، با فرآیند همجوشی هسته‌ای روشن و گرم می‌کنند. این اتفاق باعث تحت تأثیر قرار گرفتن فوتون‌های تابش زمینه کیهانی نیز می‌شود زیرا گرم شدن جهان می‌تواند دوباره اتم‌های خنثی را به پلاسمایی از الکترون‌ها و هسته‌های اتم‌ها تبدیل کند که مسیر حرکت فوتون‌های آزاد شده در زمان ایجاد تابش زمینه کیهانی را — به دلیل برخورد فوتون‌ها با الکترون‌ها — تغییر می‌دهد. برای کمی کردن این رخداد از پارامتری به نام عمق نوری (optical depth) استفاده می‌شود. عمق نوری مربوط است به احتمال حداقل یک برخورد با الکترون‌ها از زمانی که ستاره‌ها باعث یونیزه شدن اتم‌ها می‌شوند تا زمانی که فوتون‌ها به ما می‌رسند. با مشاهدات ماهواره پلانک مقدار عمق نوری حدود ۰/۰۵ است که

می‌شود که نتیجه همگنی و همسانگردی کیهان در مقیاس‌های بزرگ و با تقریب خوب است. اما اگر اندازه‌گیری دقیق‌تری از تابش زمینه کیهانی داشته باشیم، خواهیم دید که افت‌وخیزهای بسیار کوچکی روی آن وجود دارد. خواص آماری این افت‌وخیزها اطلاعات ارزشمندی از تحول کیهان و مؤلفه‌های تشکیل‌دهنده آن به دست می‌دهد. آمار این افت‌وخیزها را با کمیتی به نام طیف توان (power spectrum) مطالعه می‌کنند که در واقع همبستگی دو نقطه مختلف کیهان را به صورت میانگین به عنوان تابعی از فاصله دو نقطه نشان می‌دهد. آخرین اندازه‌گیری تابش زمینه کیهانی مربوط است به ماهواره پلانک که از سال ۲۰۰۹ میلادی به مدت چهار سال داده‌های دقیقی را جمع‌آوری کرد. شکل ۲ نقشه افت‌وخیزهای تابش زمینه کیهانی را نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۳ طیف توان تابش زمینه کیهانی حاصل از اندازه‌گیری‌های ماهواره پلانک نشان داده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، تطابق بین داده‌های مشاهداتی و نتایج نظری بسیار قابل توجه است. برای برقراری این تطابق — همان‌طور که گفته شد — نیاز به شش پارامتر خواهیم داشت که در ادامه به آنها اشاره می‌شود.

بازگردیم به بحث راجع به تاریخچه گرمایی کیهان. پدیده مهم دیگر که پس از تابش زمینه کیهانی اتفاق می‌افتد، تشکیل ساختارهای بزرگ‌مقیاس است. افت‌وخیزهای بسیار کوچک که ردپای آنها را از روی تابش زمینه کیهانی دیدیم، اهمیت اساسی برای تشکیل ساختارهای بزرگ مانند کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی دارند. این افت‌وخیزهای کوچک در طی زمان به دلیل جاذبه گرانشی که ایجاد می‌کنند رشد کرده و تبدیل به هسته‌های اولیه برای تشکیل ساختارهای بزرگتر می‌شوند. در نهایت از زمان چهارصد میلیون سال پس از آغاز



شکل ۴. نتیجه یک شبیه‌سازی کیهانی با ماده تاریک. نواحی روشن تر نشان‌دهنده چگالی بیشتر ماده تاریک است. کهکشان‌ها درون نواحی چگال تشکیل می‌شوند. این نتیجه به صورت آماری تطابق بسیار خوبی با رصدهای کیهانی (شبیه آنچه که در شکل ۱ آمده) دارد. (منبع- illustris-project.org).

میلادی، نتایجی از مشاهده اجرام بسیار دوردست به دست آمد که از تحلیل آن این نتیجه گرفته شد که سرعت انبساط جهان در حال افزایش است (به عبارت فنی‌تر جهان شتابدار و با شتاب مثبت است). این با درک ابتدایی ما از نیروی گرانش بسیار متفاوت است چرا که ما گرانش را به عنوان نیروی جاذبه می‌شناسیم بنابراین توقع داریم که نیروی گرانشی کهکشان‌ها — به عنوان نیروی غالب در مقیاس کیهانی — مانند یک ترمز برای انبساط عمل کند و سرعت انبساط کاهش یابد. برخلاف تصور، به نظر می‌رسد در زمان‌های متأخر نیروی گرانشی مانند یک نیروی دافعه عمل کرده و به انبساط عالم کمک می‌کند. برای اینکه بتوان این پدیده را توصیف کرد به یک ماده اضافی — که به آن انرژی تاریک گفته می‌شود — نیاز است که ۷۵٪ چگالی انرژی کیهان را تشکیل می‌دهد. خاصیت انرژی تاریک این است که چیزی شبیه به نیروی دافعه گرانشی ایجاد می‌کند. علاوه بر شتاب کیهان اندازه‌گیری شده با مشاهده اجرام دوردست، باز هم توصیف طیف توان تابش زمینه کیهانی تأییدی است بر فرض وجود انرژی تاریک. شکل ۵ سهم هر مؤلفه از کیهان را در چگالی انرژی در زمان حال نشان می‌دهد.

با فرض وجود ماده تاریک و انرژی تاریک، مسئله پایان نمی‌یابد. بلکه منشأ این مؤلفه‌های کیهانی سؤال است که باید برای یافتن پاسخ آن تلاش کرد. در مورد ماده تاریک، واضح است که مدل استاندارد ذرات بنیادی پیشنهادی برای نوع ذره تشکیل‌دهنده آن نمی‌دهد و باید این مدل را توسعه داد به نحوی که ذرات ماده تاریک را شامل شود. مدل‌های بسیاری پیشنهاد شده‌اند اما به لحاظ مشاهداتی تاکنون طبیعت راهنمایی چندانی برای تصمیم‌گیری در مورد مدل‌ها نکرده است

احتمال متناظر آن حدود ۵٪ خواهد بود. این یکی دیگر از شش پارامتر مورد نیاز در کیهانشناسی است. در نهایت این ستاره‌زایی‌ها به همراه تشکیل منظومه‌های پیچیده‌تر ادامه می‌کنند تا به زمان کنونی یعنی حدود چهارده میلیارد سال از آغاز عالم (معادل دمای حدود ۲۷۰ درجه سانتیگراد زیر صفر) می‌رسیم. سن عالم در واقع یکی از شش پارامتر مورد نیاز برای توصیف کیهان است که از روی مشاهدات تابش زمینه کیهانی و دیگر رصدها به دست می‌آید.

۱.۲ ماده تاریک و انرژی تاریک

همان‌طور که اشاره شد، برای توضیح آنچه از کیهان مشاهده می‌کنیم، احتیاج به شش پارامتر داریم که در بخش قبل به دو پارامتر آن (عمق نوری و عمر کیهان) پرداختیم. در این بخش دو پارامتر دیگر را معرفی می‌کنم که مربوط هستند به مواد تشکیل‌دهنده عالم که طبق نظریه نسبیت عام اینشتین، دینامیک و هندسه کیهان را نیز تعیین می‌کنند. کیهان حداقل سه مؤلفه دارد که هر کدام نقش مهمی در تحول کیهان ایفا می‌کند. یکی همین ماده شناخته شده که بدن ما، کره زمین، ستاره‌ها و کهکشان‌ها را تشکیل می‌دهد و ذرات تشکیل‌دهنده آنها را با شتابگرها و دیگر آزمایش‌ها کشف کرده‌ایم. اما به نظر می‌رسد که این نوع ماده به تنهایی برای توصیف کیهان کافی نیست و در واقع فقط ۵٪ از چگالی انرژی کیهان را ماده معمولی تشکیل می‌دهد! رصدهای کیهانی نشان می‌دهند که حداقل دو نوع ماده دیگر نیاز است که تحت عنوان ماده تاریک و انرژی تاریک شناخته می‌شوند. سهم این دو از چگالی انرژی عالم، دو پارامتر دیگر از شش پارامتر کیهانشناسی هستند.

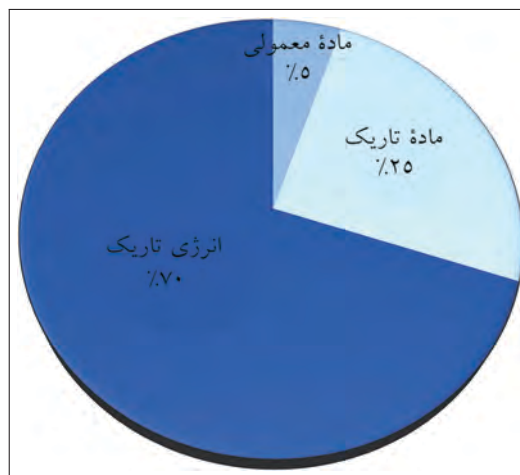
ماده تاریک نوعی از ماده است که به لحاظ اثرات گرانشی بسیار شبیه به ماده معمولی است. اما اگر به دید ذرات بنیادی به آن بنگریم برهمکنش بسیار ضعیفی با ذرات ماده معمولی دارد (و به همین دلیل است که قبل از مشاهدات دقیق کیهانی، موفق به کشف آنها — مثلاً در شتابگرها — نشدیم). علی‌رغم عدم مشاهده مستقیم این ذرات، به دلیل جرم‌دار بودن آنها، اثرات گرانشی قابل‌ملاحظه‌ای در طی تحول کیهان داشته‌اند. این ماده حدود ۲۵٪ چگالی عالم را شامل می‌شود. دلایل مشاهداتی متعددی برای ماده تاریک وجود دارد که از جمله آن می‌توان به طیف توان افت‌وخیزهای دمای روی تابش زمینه گرمایی (شکل ۳) و تشکیل ساختارها اشاره کرد (شکل ۴). بدون در نظر گرفتن ماده تاریک، عمر کیهان — علی‌رغم اینکه مثلاً در مقایسه با عمر انسان بسیار طولانی است — برای تشکیل ساختارهای بزرگ مانند کهکشان‌ها و خوشه‌های کهکشانی کافی نبوده است!

دلایل دیگری وجود دارد که ما را به این نتیجه می‌رساند که حتی اضافه کردن ماده تاریک نیز کفایت نمی‌کند. در اواخر دهه ۱۹۹۰

۳. مسئله تنظیم ظریف و تورم

توصیف تاریخچه گرمایی با استفاده از نظریه‌های نسبیت عام و کوانتوم به طرز شگفت‌آوری موفق بوده است و توسط مشاهدات و رصد‌های متعددی تأیید شده است. اما همان‌طور که در مقدمه اشاره شد، علاوه بر مواد موجود در کیهان که توسط معادلات نسبیت عام دینامیک کیهان را به دست می‌دهند، به شرایط اولیه مناسب برای ارائه یک توصیف کامل احتیاج داریم. با بررسی امکانات مختلف برای شرایط اولیه کیهان، دچار مسئله‌ای می‌شویم که به عنوان تنظیم ظریف شناخته می‌شود. به طور مختصر، این مسئله به تنظیم دقیق شرایط اولیه — در میان تمام شرایط ممکن — اشاره دارد. به بیان دیگر، با توجه به اینکه شرایط متعددی می‌توانست در کیهان اولیه حاکم باشد (که قوانین فیزیکی که از آنها آگاه هستیم آنها را محدود نمی‌کنند)، به نظر می‌رسد یک مجموعه از شرایط خیلی خاص با دقت بسیار بالا نیاز است که جهانی که مشاهده می‌کنیم به وجود آمده باشد. اندک تغییری در این شرایط (که می‌تواند به صورت کاملاً طبیعی توسط افت‌وخیزهای دمایی یا کوانتومی رخ دهد) می‌توانست به جهانی بسیار متفاوت از آنچه که می‌بینیم بینجامد. به عنوان مثال، اشاره کردم که جهان در مقیاس‌های بزرگ همگن و همسانگرد به نظر می‌رسد. این در حالی است که با در نظر گرفتن تاریخچه گرمایی کیهان، به این نتیجه می‌رسیم که نواحی زیادی از کیهانی که اکنون مشاهده می‌کنیم فاقد هرگونه رابطه علی با همدیگر بوده‌اند چرا که به دلیل وسعت کیهان، حتی نور هم فرصت انتشار از یک نقطه به نقطه دیگر نداشته است. بنابراین، این نواحی اگر در ابتدا با هم متفاوت بوده باشند، فرصت همدما و همگن شدن را نداشته‌اند. این بدین معناست که شرایط اولیه برای نواحی بسیار دور از هم با دقت بسیار زیاد، به صورت یکسان قرار داده شده است در حالی که نواحی دور از هم به راحتی می‌توانستند بسیار متفاوت باشند. این یک نوع از مسئله تنظیم ظریف است. مسائل تنظیم ظریف شرایط اولیه به همگنی و همسانگردی کیهان محدود نیست ولی به این مثال اکتفا می‌کنم.

خوب، این مسئله به نظر یک مشکل فلسفی است، که البته درست است و در فلسفه درباره آن بحث می‌شود. اما به دید علمی هم می‌توان نگران این موضوع بود. شاید مهمترین دلیل این است که هرگاه با مسئله تنظیم ظریف روبه‌رو می‌شویم، این احتمال هست که تنظیم ظریف نه در واقعیت بلکه ناشی از جهل ما نسبت به مسئله باشد و نشان از فیزیک جدیدی داشته باشد که باید سعی در کشف آن داشته باشیم. این مسئله در تاریخ علم هم تجربه شده است. یک نمونه تاریخی معروف مربوط است به سرعت امواج الکترومغناطیسی. ماکسول (Maxwell) در دهه ۱۸۶۰ میلادی تلاش کرد که قوانین حاکم بر میدان‌های الکتریکی



شکل ۵. سهم ماده معمولی، ماده تاریک و انرژی تاریک از چگالی انرژی عالم در زمان حال. ۹۵٪ از ماده موجود در عالم به صورت ماده تاریک و انرژی تاریک است که منشأی ناشناخته دارند.

(به دلیل اینکه ذرات ماده تاریک کشف نشده‌اند، بلکه فقط اثرات گرانشی آنها مشاهده شده است).

در مورد انرژی تاریک وضعیت قدری بغرنج‌تر است چرا که احتیاج به ماده‌ای داریم که نیروی دافعه گرانشی ایجاد کند. یک توضیح که می‌توانست بسیار خوب باشد این است که انرژی تاریک در واقع انرژی خلاء کوانتومی است که مانند انرژی تاریک عمل می‌کند. انرژی خلاء معمولاً در دیگر آزمایش‌ها (مانند آنچه در شتابگرها انجام می‌شود) قابل مشاهده نیست ولی اثرات گرانشی آن، خود را در مقیاس‌های بزرگ نشان می‌دهد. اما محاسبات کمی در قالب نظریه میدان‌های کوانتومی تخمینی ارائه می‌دهد که بسیار متفاوت است با آنچه که مشاهده می‌کنیم: مقدار پیش‌بینی شده در نظریه کوانتوم چیزی در حدود 10^{56} برابر بیشتر است! می‌توان گفت این یکی از بزرگترین ناسازگاری‌های یک نظریه (که البته موفقیت‌های کم‌نظیری در توصیف بسیاری دیگر از پدیده‌ها داشته) با اندازه‌گیری‌ها در تاریخ علم است! برای حل این مسئله باز هم به نظر می‌رسد که باید نظریه کنونی ذرات بنیادی را تعمیم داد یا تصحیح کرد.

در پایان این بخش، این نکته شایان ذکر است که راه حل ارائه شده تحت عنوان ماده تاریک و انرژی تاریک شاید ساده‌ترین و زیباترین توضیح — حداقل از دید برخی از کیهانشناسان — برای پدیده‌های کیهانی باشد اما تنها راه حل نیست. ایده دیگر، تغییر نظریه گرانش از نسبیت عام به یک نظریه تعمیم‌یافته است. اما این راه، هزینه و پیچیدگی‌های متعددی ایجاد می‌کند که جذاب به نظر نمی‌رسد. هرچند که این مسئله قدری سلیقه‌ای است و همچنین شاید جذابیت یک نظریه دلیل محکمی برای رد یا تأیید آن نباشد.

و مغناطیسی را در یک چارچوب — تحت نظریه الکترومغناطیسی — بیان کند. با استفاده از این نظریه، او معادلاتی به دست آورد که انتشار امواج الکترومغناطیسی را بیان می‌کرد و بلافاصله متوجه شد که سرعت انتشار این امواج بسیار به سرعت انتشار نور اندازه‌گیری شده — با دقت‌های آن زمان — نزدیک است. این تساوی یک نوع تنظیم ظریف است. اما ماکسول به گزارش این تنظیم ظریف بسنده نکرد و نتیجه گرفت که نور در واقع یک موج الکترومغناطیسی است، که نتیجه‌گیری درستی هم بوده است. این مثال نشان می‌دهد که تلاش برای توضیح تنظیم ظریف می‌تواند به درک ما از طبیعت کمک شایانی بکند.

برگردیم به مسئله تنظیم ظریف در کیهانشناسی. آلن گوث (Alan Guth) در سال ۱۹۸۰ میلادی و پس از آنکه از این مسئله در کیهانشناسی مطلع شد، تلاش کرد که توضیحی برای این تنظیم ظریف ارائه دهد. او اسم این ایده را تورم (inflation) گذاشت: اگر جهان در زمانی که بسیار جوان بوده، یک فاز انبساط بسیار شدید و تندشونده را تجربه کرده باشد می‌توان همگنی و همسانگردی جهان را توضیح داد بدون این که نیاز به تنظیم ظریف وجود داشته باشد. این ایده آنچنان موفقیت‌آمیز بوده است که امروزه به عنوان بخشی از تاریخچه کیهان توسط طیف وسیعی از کیهانشناسان پذیرفته شده است.^۲ به زبان ساده، این فاز تورمی باعث می‌شود که قسمت کوچکی از جهان — که در تعادل ترمودینامیکی و تقریباً همگن بوده است — به شدت منبسط شود و جهان کنونی را بسازد. بنابراین، دیدن جهانی همگن و همسانگرد با این وسعت توضیح داده می‌شود. طول دوره تورم به برخی جزئیات بستگی دارد که بحث راجع به آنها در این مقال نمی‌گنجد اما برای داشتن یک تخمین نوعی، حالتی را در نظر بگیرید که تورم در زمان ۳۸-۱۰ ثانیه از آغاز کیهان (متناظر دمای ۱۰^{۲۹} درجه سانتی‌گراد) شروع می‌شود. در این صورت، اگر تورم به مدت تقریباً ۳۶-۱۰ ثانیه طول بکشد برای حل کردن مسئله تنظیم ظریف کاملاً کافی خواهد بود. در این مدت بسیار کوتاه، ابعاد کیهان بر اثر تورم ۱۰^{۴۳} برابر می‌شود!

موفقیت تورم به حل مسئله تنظیم ظریف محدود نمی‌شود. تورم همچنین توضیح زیبایی برای منشاء افت‌وخیزهای کیهانی (که در تابش زمینه کیهانی (شکل ۲) و همچنین تشکیل ساختارهای بزرگ ردپای آن را می‌بینیم) ارائه می‌دهد: در مقیاس‌های بسیار کوچک، افت‌وخیزهای کوانتومی به صورت طبیعی وجود دارند که طبق نظریه کوانتوم از آنها گریزی نیست و نظریه کوانتوم می‌تواند آنها را به خوبی توصیف کند.

۲. البته توجه شود که تورم — علی‌رغم موفقیت‌هایی که در توضیح پدیده‌های کیهانی داشته است — مخالفان سرسختی نیز دارد. دلایل مخالفان و پاسخ‌های احتمالی، خارج از حوصله این مقاله است.

۳. این دما متناظر با انرژی نظریه یکپارچه بزرگ (Grand Unified Theory) انتخاب شده است.

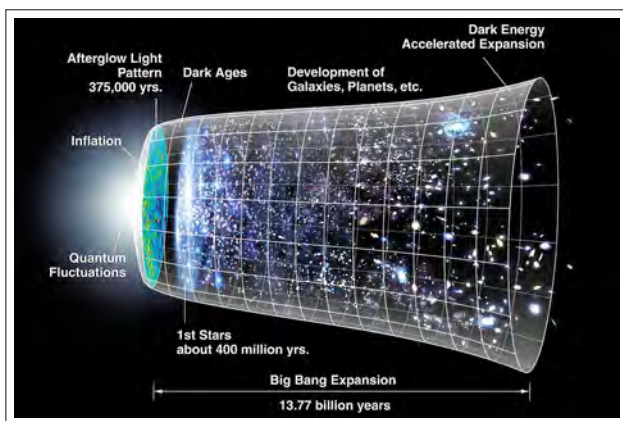
تورم، این افت‌وخیزهای کوانتومی را با ایجاد انبساط بسیار شدید در کیهان کشیده و آنها را تبدیل به افت‌وخیزها در مقیاس‌های کیهانی می‌کند! بنابراین آمار افت‌وخیزهایی که در کیهان مشاهده می‌کنیم باید با آمار این افت‌وخیزهای کوانتومی اولیه رابطه داشته باشد. تورم این رابطه را پیش‌بینی می‌کند که با مشاهدات سازگاری بسیار خوبی دارد. در واقع از شش پارامتر در کیهانشناسی دو پارامتر آن مربوط به همین آمار افت‌وخیزهای اولیه است. یک پارامتر، اندازه نوعی این افت‌وخیزها را نشان می‌دهد که حدود ۵-۱۰ (و بنابراین بسیار کوچک) است. کمیت دیگر مربوط است به اینکه بزرگی نوعی این افت‌وخیزها چطور با تغییر مقیاس تغییر می‌کند، که به آن اندیس طیفی (spec-tral index) گفته می‌شود. اگر این عدد، ۱ باشد به این معنی است که اندازه نوعی افت‌وخیزهای اولیه به مقیاس وابسته نیست. مشاهدات، عدد ۰/۹۷ را به دست می‌دهد که بدین معناست که اگر به مقیاس‌های کوچکتر نگاه کنیم اندازه افت‌وخیزهای اولیه قدری کمتر می‌شوند. به سادگی می‌توان این دو عدد را در مدل‌های تورمی توجیه کرد.

یک سؤال که به طور طبیعی پیش می‌آید این است که آیا برای وقوع خود تورم نیاز به شرایط اولیه خاص — و بنابراین تنظیم ظریف — داریم یا خیر. متأسفانه — به دلایل متعددی — جواب به این سؤال بسیار سخت است و هنوز این مسئله در دست بررسی و تحقیق است [2].

۱.۳ تورم ابدی و چندجهانی

ایده تورم در کنار موفقیت‌هایش، تبعاتی نیز دارد که قدری چالش‌برانگیز است. به نظر می‌رسد که دوره تورم در جهانی که مشاهده می‌کنیم موقت بوده است و بعد از یک دوره کوتاه متوقف شده است. اما تورم در نواحی دیگری از کیهان می‌تواند برای مدت طولانی‌تری تداوم داشته باشد. اگر کل جهان را به قسمت در حال تورم و قسمت‌هایی که تورم در آنها پایان یافته تقسیم کنیم، از آنجا که تورم باعث انبساط بسیار سریع می‌شود، این امکان وجود دارد که نواحی بسیار بیشتری از کیهان — نسبت به آن ناحیه‌ای که ما مشاهده می‌کنیم — هنوز در حال تورم باشند و این تورم ادامه پیدا کند. به عبارت دیگر تورم ممکن است ابدی باشد. نتیجه طبیعی تورم ابدی این خواهد بود که ما با جهانی بسیار بسیار بزرگتر از آنچه برای ما قابل مشاهده است روبه‌رو خواهیم بود، که به مسئله چندجهانی (multiverse) معروف شده است.

باز هم در این موضوع پای فلسفه باز می‌شود. می‌توان پرسید آیا اصلاً صحبت از جهانی که قسمت اعظم آن غیر قابل دسترسی است — و حتی نور آن نواحی هم فرصت رسیدن به ما را پیدا نکرده — به لحاظ علمی توجیهی دارد یا خیر. و اگر بله، آیا می‌توان ارزیابی‌های



شکل ۶. خلاصه‌ای از تاریخچه گرمایی کیهان. اعداد در این شکل قدری دقیق‌تر از آنچه هستند که در متن ذکر شده است. (منبع maps.gsfc.nasa.gov).

کیهان‌شناسی نیست بلکه تازه در اول راه هستیم، به این معنی که شناخت ما از جهان نه تنها کامل نیست بلکه حدود یک قرن فعالیت در حوزه کیهان‌شناسی ما را به این نتیجه رسانده که نادانی‌های بسیار اساسی در مورد کیهان داریم. اما این خود یک قدم بزرگ برای کشف حقایق عالم است: شاید بتوان گفت که ما در حال گذار از جهل مرکب به جهل بسیط هستیم. تا چند دهه پیش کسی فکر نمی‌کرد که ما نسبت به ۹۵٪ ماده موجود در کیهان (ماده تاریک و انرژی تاریک) شناخت بسیار اندکی داریم. به علاوه، امکان وقوع چندجهانی ما را به این نتیجه می‌رساند که با ابزارهای کنونی در حوزه علم تجربی ممکن است دستیابی به دانشی کامل در مورد کل کیهان امکان‌ناپذیر باشد.

داده‌های جدید که در آینده نزدیک توسط دستگاه‌های دقیق و پیشرفته جمع‌آوری خواهند شد، به همراه توسعه و تکمیل نظریه‌ها می‌تواند در یافتن جواب به سؤالات حوزه کیهان‌شناسی کمک شایانی بکند، اما باید توجه داشت که تضمینی برای آن وجود ندارد مخصوصاً به این دلیل که محدودیت‌های اساسی ما در دسترسی به نقاط دوردست کیهان، باعث می‌شود که مقدار داده‌ای که می‌توان علی‌الاصول به دست آورد محدود باشد. ■

مراجع

- 1 S. Weinberg, *The First Three Minutes. A Modern View of the Origin of the Universe*, Basic Books, New York, 1977.
- 2 Alan Guth, *The Inflationary Universe: The Quest for a New Theory of Cosmic Origins*, Perseus Books, New York, 1997.
- 3 D. Perlov and A. Vilenkin, *Cosmology for the Curious*, Springer, New York, 2017.

مرسوم علمی را برای مقایسه نظریه‌های چندجهانی با یکدیگر و یافتن بهترین نظریه به کار بست یا خیر. جواب‌های متعدد و بعضاً متضاد به این سؤالات داده شده است. اما به نظر من — فارغ از اینکه آیا چنین سؤالی در قالب علم تجربی (empirical science) می‌گنجد یا نه (که به این بستگی دارد که علم را چگونه تعریف می‌کنیم) — اگر چندجهانی امکان وقوع داشته باشد باید به آن پرداخت، همانند بسیاری دیگر از کنجکاو‌های بشری راجع به حقایق این عالم. روش‌های علمی مرسوم طبیعتاً در این حوزه دچار چالش‌هایی می‌شوند اما باید سعی داشت بر این چالش‌ها فائق آمد یا روش‌های جدیدی را ابداع کرد. از این گذشته، حتی اگر تنها به چیزهایی که مشاهده مستقیم آنها امکان‌پذیر است اهمیت می‌دهیم — که من اینچنین فکر نمی‌کنم — در نظر گرفتن چندجهانی می‌تواند به حل برخی مسائل کمک کند. یک نمونه از این مسائل، تنظیم ظریف پارامترها و قوانین فیزیکی برای امکان تداوم حیات است که به نظر می‌رسد در یک جهان با ابعاد کوچک وجود دارد. اما اگر چندجهانی واقعیت داشته باشد و قوانین فیزیکی در نقاط مختلف کیهان متفاوت باشند، در این جهان بسیار گسترده، احتمال اینکه یک ناحیه با قوانین مناسب برای تداوم حیات وجود داشته باشد می‌تواند زیاد باشد. در این صورت نیاز به تنظیم ظریف قوانین و پارامترهای فیزیکی نخواهیم داشت [3].

۴. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله سعی کردم راجع به تاریخچه کیهان و گزاره مشهور مربوط به آن که «جهان را می‌توان با شش پارامتر توصیف کرد» توضیح مختصری ارائه دهم. شکل ۶ یک جمع‌بندی کلی از مباحث مطرح شده ارائه می‌دهد. از این شش پارامتر — همان‌طور که دیدیم — دو پارامتر مربوط به شرایط اولیه است که یکی اندازه نوعی افت‌وخیزهای اولیه و دیگری اندیس طیفی آنها (یعنی وابستگی اندازه افت‌وخیزها به مقیاس) را مشخص می‌کند. این افت‌وخیزهای اولیه در نهایت رد پای خود را روی تابش زمینه کیهانی و ساختارهای بزرگ‌مقیاس به جای می‌گذارند. دو پارامتر دیگر، سهم دو مؤلفه کیهان (با منشاء ناشناخته) یعنی ماده تاریک و انرژی تاریک را در چگالی انرژی عالم بیان می‌کنند. ماده تاریک در تشکیل ساختارهای بزرگ‌مقیاس نقش اساسی ایفا می‌کند، در حالی که انرژی تاریک مسئول انبساط تندشونده عالم در دوره اخیر کیهان می‌باشد. یک پارامتر دیگر، عمق نوری است که احتمال برخورد فوتون‌های تابش زمینه کیهانی را با الکترون‌های آزادشده پس از گرم شدن محیط توسط ستاره‌ها تعیین می‌کند. در نهایت، یک پارامتر هم عمر کیهان را بیان می‌کند.

علم کیهان‌شناسی با استفاده از ابزارهای نظری و تکنولوژی، درک ما را از جهان به کلی تغییر داده است. اما این به معنای تمام شدن



تلسکوپ‌های نوری دریچه‌ای به روی عظمت جهان*

الهام صارمی
پژوهشکده نجوم

مقدمه

همان‌طور که در گذشته بوده‌اند. پس با مطالعه کیهانشان‌های دورتر به نحوه شکل‌گیری و تحول کیهانشان خودمان پی می‌بریم و با مطالعه راه شیری با این فرض که کیهانشان‌ها ساختارهای مشابهی دارند می‌توانیم به ساختار ستاره‌ها و محتوای کیهانشان‌ها پی ببریم. ما اخیراً شاهد یک دوره از کشف‌های عظیم در نجوم هستیم که این امر مدیون پیشرفت وسیع توانایی‌های تکنیکی در ابزارهای رصدی همچون تلسکوپ‌ها و رشد عظیم روش‌های تحلیل داده است [1].

در اینجا قرار است در بین تمام مباحث این دانش گسترده، تنها به بررسی مختصری از دسته‌ای خاص از تلسکوپ‌ها یعنی تلسکوپ‌های نوری بپردازیم و با تعدادی از آنها آشنا شویم.

تاریخچه

ابن هیشم، پدر علم فیزیک نور، متولد ۳۵۴ هجری قمری/ ۹۶۵ میلادی در بصره، اولین دانشمندی است که از روش‌های مبتنی بر آزمایش در کارهایش استفاده کرد و ۷۰۰ سال قبل از نیوتن به بررسی ویژگی‌های نور پرداخت. از اختراعات برجسته او می‌توان به ذره‌بین و شرح اصول اتاق تاریک نام برد که آغازکننده مسیری بود که بعدها به ساخت دوربین عکاسی، دوربین سینما، و پروژکتور پخش فیلم منجر شد. خواجه نصیرالدین طوسی و جمعی از دانشمندان ایرانی هم‌عصر او در سال ۶۵۷ هجری/ ۱۲۵۹ میلادی شروع به ساخت رصدخانه مراغه کردند که در آن روزگار که در هیچ کجای دنیا خبری از تلسکوپ و دوربین‌های نجومی نبود، پیشرفته‌ترین رصدخانه جهان محسوب می‌شد و در واقع این رصدخانه یادگاری از دوران طلایی علم و فرهنگ ایران قدیم است

اخترشناسی، یکی از کهن‌ترین دانش‌های آدمی، به بررسی اجرام آسمانی می‌پردازد که در فواصلی بسیار دور از ما قرار گرفته‌اند. همواره و حتی امروز، عظمت رویدادهای آسمانی، نه تنها تخیل انسان را برمی‌انگیزد، بلکه تأثیری عینی در زندگی روزمره آدمیان دارد. کیهانشان راه شیری خانه‌ای است که ما در آن زندگی می‌کنیم، ولی در واقع تنها کیهانشان عالم نیست و میلیاردها کیهانشان شبیه آن وجود دارد. اولین بار حدود صد سال پیش منجمان دریافته‌اند که جهان ما بسیار فراتر از کیهانشان راه شیری است. شناخت سیستم‌های ستاره‌ای دیگر و تحول کیهانشان‌ها سؤالات بسیار زیادی را مطرح کرد: آیا بین کیهانشان‌ها خالی است یا اجرام کیهانی دیگری بین آنها را پر کرده‌اند؟ آیا جهان متناهی است یا نامتناهی؟ آیا آغاز و پایانی دارد؟ آیا تنها زمین است که موجودات زنده را در خود جای داده و یا سیاره‌هایی شبیه زمین فراوان‌اند؟ و هزاران سؤال دیگر. بشر سالیان سال است که به دنبال پاسخی برای این پرسش‌هاست. فقط چند دهه است که با روش‌های تجربی به بعضی از این سؤال‌ها پاسخ داده شده است. اما هر پاسخ، سؤال دیگری را در پی دارد برای درک بیشتر این جهان عظیم.

میلیاردها ستاره شبیه خورشید ما در کیهانشان راه شیری وجود دارد. سن آنها متفاوت است، بعضی در حال متولد شدن هستند و بعضی دیگر بیش از ۱۲ میلیارد سال عمر دارند. برای شناخت نحوه تشکیل و تحول یک کیهانشان نیاز به شناخت آن در تمامی دوره زندگی‌اش است که اگرچه ظاهراً این امر به صورت فیزیکی امکان‌پذیر نیست ولی چون سرعت نور محدود است ما اجرام دور را در حالت‌های قبلی آنها می‌بینیم،

و مشهورترین دانشمندان ایرانی از جمله قطب‌الدین شیرازی (کاشف اصلی علت رنگین کمان) در آنجا به پژوهش پرداخته‌اند. هرچند در این رصدخانه عظیم، دستگاهی مشابه تلسکوپ‌های مدرن وجود نداشت اما مجهز به انواع مختلف دستگاه‌های سنتی ستاره‌شناسی بود. بعدها رصدخانه‌هایی در چین، ترکیه و هند از این رصدخانه الگوبرداری کردند. دو قرن بعد الغ‌بیگ نوّه تیمور لنگ، رصدخانه‌ای در سمرقند برپا کرد که همراه با رصدخانه استانبول، باعث انتقال این دانش به غرب شدند. مهمترین ریاضیدانان و منجمان آن عصر از جمله غیاث‌الدین جمشید کاشانی در آنجا پیشرفته‌ترین ابزارهای آن زمان را به کار برده‌اند [2].

تا اواخر قرن پانزدهم میلادی علم اپتیک به حدی از پیشرفت رسیده بود که نخستین عدسی‌های ساده ساخته شده بودند. جامباتیستا دلا پورتا (Giambattista della Porta) محقق و نمایشنامه‌نویس اهل ایتالیا در قرن شانزدهم میلادی ادعا کرد که اولین مخترع تلسکوپ است، اما در حالی که مشغول نوشتن رساله‌ای برای اثبات ادعای خود بود درگذشت. تلاش‌های او در تکمیل دانش ساخت تلسکوپ نقش به‌سزایی داشت. او دوربین تاریکخانه‌ای را تکمیل نمود و عنبیه چشم انسان را با عدسی دوربین تاریکخانه‌ای مقایسه کرد و از این طریق چگونگی تشکیل تصاویر در چشم را قابل فهم‌تر کرد.

در بین سال‌های ۱۶۰۶ تا ۱۶۰۹ نخستین تلسکوپ ساخته شد. اختراع تلسکوپ را نمی‌توان به‌سادگی به یک نفر اختصاص داد. عینک ساز میدلبورگی به نام هانس لیپرسهای (Hans Lippershey) اختراع دستگاهی برای دیدن اجرام دور را ثبت کرد ولی تنها پانزده روز بعد درخواست ثبت دیگری در مجمع عمومی هلند مطرح شد. برای این اختراع، چند مدعی انگلیسی و آلمانی دیگر هم وجود دارد. در سال ۱۶۰۹ میلادی، خبر این اختراع به گالیلئو گالیله (Galileo Galilei) رسید و او سریعاً نمونه‌ای از آن را ساخت که می‌توانست اجسام را تا سه برابر نزدیک‌تر از فاصله معمولی نشان دهد. گالیله این وسیله را تلسکوپ (به معنای دیدن دور) نامید. اگرچه او مخترع تلسکوپ نیست ولی اولین کسی است که برای رصد اجرام آسمانی از آن استفاده کرد. گالیله در کتاب پیک ستارگان دربارهٔ سومین تلسکوپ خود می‌نویسد:

«سرانجام، بر اثر پشتکار و صرف هزینه‌های لازم، موفق شدم برای خود چنان ابزار ارزنده‌ای بسازم که اجسامی که به وسیلهٔ آن رؤیت می‌شدند تقریباً هزار بار بزرگ‌تر و بیش از سی برابر نزدیک‌تر از رؤیت با دید معمولی به نظر می‌رسیدند.»

پس از ساخت تلسکوپ با استفاده از عدسی (تلسکوپ شکستی)، افرادی به این فکر افتادند که به دلایلی همچون پرهزینه بودن ساخت

عدسی، به سراغ آینه‌ها برای گردآوری نور بروند. در سال ۱۶۶۸ آیزاک نیوتن اولین تلسکوپ بازتابی را با کمک آینه‌ها ساخت. آینه تلسکوپ او فلزی بود و قطری در حدود ۵ سانتی‌متر داشت. اغلب تلسکوپ‌های نوری ساخته شده در قرن بیستم از نوع بازتابی بودند، درحالی که بزرگ‌ترین تلسکوپ‌های بازتابی در حال کار، آینه‌هایی با قطر بزرگ‌تر از ۱۰ متر دارند [3].

تلسکوپ‌های نوری

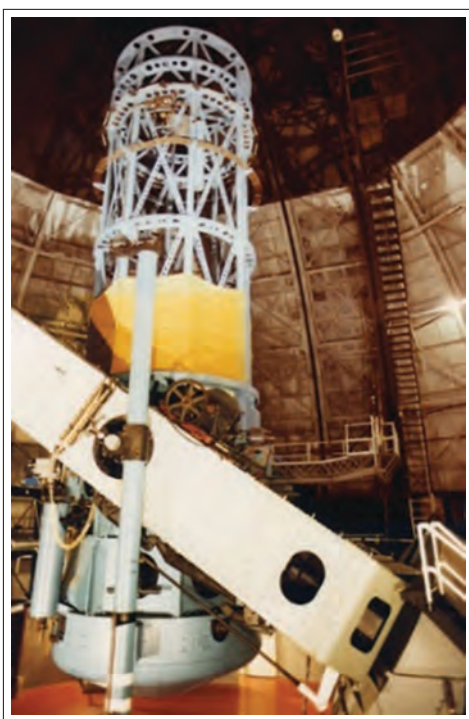
کهکشان‌های فراتر از راه شیری همگی در فواصل بسیار دوری از ما قرار گرفته‌اند. بنابراین، کم نور دیده می‌شوند هرچند ذاتاً بسیار درخشان باشند. همچنین آنها در یک اندازهٔ زاویه‌ای بسیار کوچک دیده می‌شوند هرچند اساساً وسعت بسیار زیادی در آسمان داشته باشند. در حقیقت از میلیاردها کهکشان موجود، تنها سه کهکشان به غیر از راه شیری را می‌توان با چشم غیرمسلح دید که شامل کهکشان آندرومدا و ابرهای ماژلانی کوچک و بزرگ هستند. بنابراین برای مطالعهٔ جهان نیاز به تلسکوپ‌هایی با قدرت جمع‌آوری زیاد امواج و قدرت تفکیک زاویه‌ای بالا، مشهود است.

تلسکوپ وسیله‌ای برای دیدن اجرام آسمانی با استفاده از امواج الکترومغناطیسی است. هرچند استفاده از اصطلاح تلسکوپ به‌تنهایی یادآور تلسکوپ نوری است که در بسامدهای نور مرئی کار می‌کند، اما تلسکوپ‌های دیگری نیز وجود دارند که نسبت به سایر بسامدهای طیف الکترومغناطیس حساس هستند. از جمله تلسکوپ‌های رادیویی، مادون قرمز، اشعهٔ ایکس، و گاما که عملکرد هر کدام به طول موج خاصی از امواج الکترومغناطیسی مرتبط است. نمونه‌ای از ترکیب تصاویر انواع این تلسکوپ‌ها را می‌توانیم در شکل ۱ ببینیم. در این تصویر، ناسا به‌زیبایی با کنار هم قرار دادن ۹ تصویر از تلسکوپ‌های حساس با طول موج‌های مختلف امواج الکترومغناطیسی، دیسک کهکشان راه شیری را به تصویر کشیده است. تفاوت نگاه تلسکوپ‌ها از یک منطقه از آسمان کاملاً مشهود است [1].

جو زمین نسبت به بخش‌های مرئی و ابتدای مادون قرمز امواج الکترومغناطیسی (طول موج‌های ۰/۳ تا ۱ میکرومتر) شفاف است و بنابراین می‌توانیم در این محدوده، اجرام را از زمین مشاهده کنیم. علی‌رغم پیشرفت‌های بسیاری که در همهٔ طول موج‌ها حاصل شده است، همچنان مشاهدات نوری به دو دلیل بیشترین اطلاعات را فراهم می‌کنند: یکی اینکه تابش ساطع شده از کهکشان‌ها اغلب از نور ستارگان آنهاست و بیشتر نور ستارگان در ناحیهٔ مرئی هستند. حتی در نواحی‌ای که پوشیدگی با غبار داریم، مانند فضاهایی که در

بود (شکل ۳) [1]. اخترشناسی به نام جورج الری هیل (George Ellery Hale) این تلسکوپ ۵/۱ متری را طراحی و از عموم مردم آمریکا خواست تا برای ساخت تلسکوپ‌های بزرگ به منظور پاسخگویی به سؤالات مربوط به ماهیت اساسی عالم کمک کنند. هیل امیدوار بود که مردم آمریکا حتی اگر این کشور در اعماق رکود بزرگ باشد، پروژه او را بفهمند و از آن حمایت کنند. او در نامه‌ای نوشت:

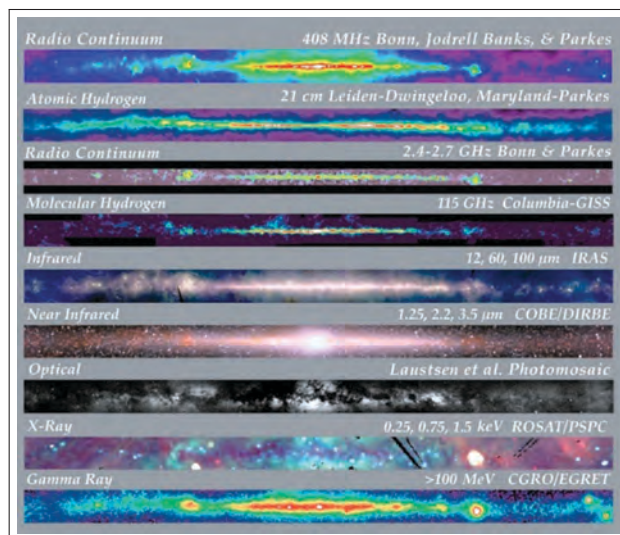
«هیچ روشی برای پیشرفت علم به اندازه تولید ابزارها و روش‌های تحقیق، مؤثر نیست. یک تلسکوپ بزرگتر نه تنها قدرت نفوذ در فضای نوری و قدرت عکاسی بالاتر را فراهم می‌کند، بلکه اجازه استفاده از ایده‌ها را می‌دهد.»



شکل ۲. تلسکوپ نوری ۲/۵ متری هوکر



شکل ۳. رصدخانه پالومار کالیفرنیا



شکل ۱. دیسک کهکشان راه شیری از دیدگاه ۹ تلسکوپ با طول موج‌های مختلف، ناسا

آنجا ستاره‌زایی رخ می‌دهد، طول‌موج‌های غالب در ناحیه مادون قرمز نزدیک هستند. دوم اینکه آشکارسازهای نوری بیشترین بازدهی را دارند. اگرچه مشاهدات نوری سال‌های زیادی است که صورت می‌گیرد ولی طی چند دهه اخیر به لطف تلسکوپ‌های بزرگ و آشکارسازهای پیشرفته، رشد بسیار چشمگیری داشته است. این مشاهدات، پنجره‌ای را به جهان دور و با توجه به محدود بودن سرعت نور، به جهان اولیه باز کرده‌اند. امروزه می‌توانیم کهکشان‌هایی را مطالعه کنیم که نور خود را در زمانی که جهان ۱۰ درصد عمر کنونی خود را داشته، ساطع کرده‌اند. پس می‌توانیم تاریخچه و تحول جهان را بهتر درک کنیم [1]. در این مقاله، تنها با برخی از معروفترین تلسکوپ‌های نوری بزرگ دنیا که نقش مهمی در پیشرفت نجوم داشته‌اند، آشنا می‌شویم [4].

تلسکوپ‌های نوری زمینی

در سال ۱۹۲۴ میلادی، ادوین هابل (Edwin Hubble)، منجم آمریکایی، با بزرگ‌ترین تلسکوپ جهان در آن زمان یعنی تلسکوپ نوری ۲/۵ متری هوکر (Hooker) در رصدخانه کوه ویلسون (Mount Wilson) در کالیفرنیا، اساس یافته‌های جهان را تغییر داد (شکل ۲). هابل ثابت کرد جهانی فراتر از کهکشان راه شیری وجود دارد و تحقیقات او اثبات کرد کهکشان‌ها با سرعتی متناسب با فاصله‌شان از یکدیگر دور می‌شوند [5].

برای حدود ۴۰ سال تلسکوپ نوری هیل (Hale) در رصدخانه کوه پالومار (Palomar) در کالیفرنیا بزرگترین تلسکوپ جهان غرب

جفت جنوبی تلسکوپ جمینای در رصدخانه سِرو پاچون (Cerro Pachón) در شیلی برای رصد نیمکره جنوبی قرار گرفته است [6].

آکادمی علوم آمریکا پیشنهادی برای ساخت یک تلسکوپ سی متری (Thirty Meter Telescope; TMT, TMT International Observatory) در مائونا کیا در هاوایی داد، متشکل از ۴۹۲ قطعه آینه، که قدرت آن ۹ برابر تلسکوپ‌های بزرگ کک خواهد بود. این تلسکوپ قرار است در طول موج‌های فرابنفش نزدیک تا فروسرخ میانی کار کند. اما ساخت آن با چندین دوره تظاهرات عمومی و باطل کردن مجوز آن از سوی دادگاه عالی ایالت هاوایی در ۲۰۱۵، متوقف شد، چون محل ساخت این تلسکوپ در جایی است که ادعا می‌شود در فرهنگ و دین بومیان هاوایی مقدس شمرده می‌شود. در صورتی که فرایند ساخت، همچنان در هاوایی متوقف بماند، جزیره لاپالما (La Palma) مکان جایگزین برای ساخت آن خواهد بود.



شکل ۵. نمایی از برخی تلسکوپ‌های ORM در جزیره لاپالما

جزیره لاپالما یکی از هفت جزیره قناری در اسپانیا با ارتفاع ۲۳۹۶ متر، میزبان مجموعه‌ای پیشرفته از تلسکوپ‌های دنیا (Roque de los Muchachos Observatory; ORM) است. از لحاظ کیفیت دید نجومی (seeing) بعد از رصدخانه مائونا کیا در هاوایی، دومین مکان برتر جهان است (شکل ۵). معروفترین تلسکوپ‌های نوری آن (Gran Telescope Canary; GTC, <http://www.gtc.iac.es/> Isaac Newton Group of Telescopes; ING, <http://www.ing.iac.es/>) با قطر ۱۰/۴ متر، و ویلیام هرشل (William Herschel Telescope; WHT) با قطر ۴/۲ متر، آیزاک نیوتن (Isaac Newton Telescope; INT) با قطر ۲/۵۴ متر و جاکوب کپتین (Jacobus Kapteyn Tele-

در آن زمان در روسیه یک تلسکوپ ۶ متری ساخته شد ولی گفته شده که مشکلاتی در طراحی آن وجود داشته است [1]. در سال ۱۹۹۳ سری جدیدی از تلسکوپ‌های بزرگ ساخته شد که اولین آنها تلسکوپ‌های ۱۰ متری دو قلوی کک (Keck) بر فراز قله مائونا کیا (Mauna Kea) در هاوایی است (شکل ۴). تلسکوپ‌های کک از نوع بازتابی هستند و ساخت یکپارچه چنین آینه‌ای با دقت بالا تقریباً غیرممکن است، زیرا وزن زیاد آینه‌ها باعث موجدار شدن سطح آینه‌ها می‌شود. به همین دلیل، آینه‌های تلسکوپ‌های کک از ۳۶ قطعه ۶ وجهی تشکیل شده است. این شیوه در زمان خود یک شاهکار انقلابی در مهندسی بود که ساخت آینه‌های بسیار سنگین را امکان‌پذیر می‌ساخت. این ۳۶ قطعه آینه ۶ وجهی به شکل کاملاً فشرده نسبت به هم قرار دارند و میکروموتورهایی که توسط یک کامپیوتر مرکزی هدایت می‌شوند، به‌طور مستمر در طول رصد، موقعیت هرکدام از اجزا را نسبت به اجزای مجاور با دقتی در حدود نانومتر تنظیم می‌کنند (<http://spacecraftkits.com/KFacts.html>).



شکل ۴. تلسکوپ‌های دو قلوی کک

رصدخانه مائونا کیا به دلیل وجود آسمان تاریک، دید خوب نجومی (good seeing)، رطوبت کم، ارتفاع زیاد ۴۲۰۵ متر، موقعیت بالاتر از بیشتر بخارات آب در جو، و هوای پاک، یک مکان ایده‌آل است و علاوه بر تلسکوپ‌های کک، میزبان تلسکوپ‌های نوری بزرگ و مهم دیگری در دنیا همچون تلسکوپ‌های سوبارای ژاپنی (Japanese Subaru, <https://carlkop.home.xs4all.nl/subaru.html>) با قطر آینه ۸/۲ متر، تلسکوپ هاوایی-فرانسه-کانادا (France-Hawaii Telescope; CFHT, <https://www.cfht.hawaii.edu/>) با قطر آینه ۳/۵۸ متر و یکی از تلسکوپ‌های ۸/۱ متری جمینای شمالی (Gemini North) است.

(Karoo) در آفریقای جنوبی واقع شده است (شکل ۷). این تلسکوپ از ۹۱ قطعه آینه شش ضلعی، هر یک به قطر یک متر تشکیل شده و عمدتاً برای طیف‌سنجی طراحی شده است.



شکل ۷. تلسکوپ بزرگ آفریقای جنوبی

آرایه تلسکوپ‌های بزرگ (VLT, Very Large Telescope, <https://www.eso.org/public/teles-instr/paranal-observatory/vlt/>) مجموعه‌ای از چهار تلسکوپ واحد با آینه‌های اصلی به قطر ۸/۲ متر و چهار تلسکوپ متحرک کمکی به قطر ۱/۸ متر هستند که می‌توانند با هم در گروه‌های دوتایی یا سه‌تایی کار کنند و به صورت یک تداخل‌سنج غول‌پیکر عمل کرده و جزئیات را تا ۲۵ برابر دقیق‌تر از تلسکوپ‌های مجزا ببینند (شکل ۸). این تلسکوپ‌ها در رصدخانه پارانال (Paranal) در ارتفاع ۲۶۳۵ متری از سطح دریا در صحرای آتاکاما در کشور شیلی قرار گرفته‌اند که متعلق به سازمان رصدخانه جنوبی اروپا بوده و در واقع پیشرفته‌ترین رصدخانه طول‌موج مرئی جهان هستند. در حال حاضر ۲۳ ابزار جانبی مختلف مانند طیف‌نگار، نورسنج، تداخل‌سنج و ... به این تلسکوپ‌ها متصل است. آنها در طول موج‌های مرئی و مادون قرمز عمل می‌کنند. هر تلسکوپ جداگانه می‌تواند اشیاء را تقریباً چهار میلیارد بار ضعیف‌تر از آنچه می‌توان با چشم غیر مسلح دید تشخیص دهد و قدرت تفکیک زاویه‌ای ۰/۰۵ ثانیه قوسی دارد. هنگامی که تمام تلسکوپ‌ها با هم ترکیب شوند، قدرت تفکیک زاویه‌ای آنها می‌تواند به حدود ۰/۰۰۲ ثانیه قوسی برسد، معادل تشخیص دو چراغ جلوی یک اتومبیل در فاصله زمین تا ماه.

(scope; JKT) با قطر ۱ متر، تلسکوپ نوری مرکاتور (Mercator Nordic Optical Tele-) با قطر ۱/۲ متر، تلسکوپ نوردیک (scope; NOT, <http://www.not.iac.es/>) با قطر ۲/۵۶ متر هستند (شکل ۶). با قراردادهای فیما بین رصدخانه ملی ایران و تلسکوپ آیزاک نیوتن، محققان ما در پژوهشگاه دانش‌های بنیادی تاکنون بارها توانسته‌اند از این تلسکوپ برای پروژه‌های گوناگون استفاده کنند. از آن جمله می‌توان به مساحی تمام کهکشان‌های کوتوله گروه محلی اشاره کرد که طی سه سال و در ده دوره انجام شد و نتایج این پروژه در حال چاپ هستند.



شکل ۶. تلسکوپ نوردیک در جزیره لاپالما بر فراز ابرها

مساحی SDSS (Sloan Digital Sky Survey) یکی از بزرگترین مساحی‌های جهان است که با یک تلسکوپ ۲/۵ متری با میدان دید وسیع در رصدخانه آپاچی پوینت (Apache Point) در نیومکزیکوی آمریکا از سال ۲۰۰۰ شروع شده است. این مساحی دو بخش تصویربرداری و طیف‌سنجی (اسپکتروسکوپی) دارد. مشاهدات نورسنجی این تلسکوپ تقریباً ۱ میلیارد جرم را در محدوده بیش از ۳۵ درصد کل آسمان پوشش داده است و علاوه بر آن، طیف‌های بیش از ۴ میلیون جرم با این مساحی حاصل شده است. از طریق SDSS توانسته‌اند نقشه‌هایی سه بعدی از کهکشان‌های عظیم و سیاهچاله‌های دوردست و کوازارهای دور در محدوده جهان قابل مشاهده منتشر کنند و توزیع کهکشان‌ها، خواص ستارگان در کهکشان خود ما و همچنین موضوعاتی مانند ماده تاریک و انرژی تاریک را مورد بررسی عمیق قرار دهند (<https://www.sdss.org/>).

تلسکوپ بزرگ آفریقای جنوبی (Southern African Large Telescope; SALT, <https://www.salt.ac.za/>) یک تلسکوپ نوری ۱۰ متری است که در منطقه نیمه‌بیابانی کارو

پیشنهاد قرار دادن یک تلسکوپ در فضا را داد. در سال ۱۹۴۶ لیمان اسپیتزر (Lyman Spitzer) این پیشنهاد را دوباره مطرح و امکان‌سنجی کرد. چندی بعد در ۱۹۵۸، ناسا (National Aero-Nautics and Space Administration; NASA) تأسیس شد که یکی از هدف‌های درازمدت خود را ساخت یک تلسکوپ بزرگ فضایی اعلام کرد.

در ۱۹۹۰ میلادی، یکی از مهمترین ابزارهای ساخته شده در کل تاریخ علم، یعنی تلسکوپ فضایی هابل با همکاری ناسا و سازمان فضایی اروپا به فضا پرتاب شد (https://www.nasa.gov/mission_pages/hubble/story/index.html). متأسفانه با دریافت اولین تصویر، دانشمندان متوجه شدند آینه اصلی ۲/۵ متری آن، در جای مناسبی قرار نگرفته و به شدت کارایی تلسکوپ را کاهش می‌دهد. بعد از آن در ۱۹۹۳ با اولین مأموریت فضایی تعمیر هابل، به کمک یک عدسی اصلاح‌کننده این مشکل را برطرف کردند و هابل سال‌ها به عنوان یکی از قدرتمندترین ابزارهای نجومی فعالیت کرد. در دسامبر ۱۹۹۵ به پیشنهاد برخی از دانشمندان، تلسکوپ هابل برای ده روز به منطقه‌ای نسبتاً خالی از ستارگان در آسمان خیره شد و تصویر بسیار زیبا و مهم فراژرف هابل خلق شد (شکل ۹). این تصویر اطلاعات بسیار زیادی از حالت‌های اولیه کهکشان‌ها و تحول آنها در اختیار دانشمندان قرار داد. در این تصویر بیش از ۱۰۰۰۰ کهکشان دیده شد که بعضی از آنها عمری در حدود ۱۳ میلیارد سال دارند (در محدوده عمر عالم: ۱۳/۸ میلیارد سال) و بدین ترتیب هابل ما را به دورترین نقاط جهان نزدیک کرد. اکتشافات و دستاوردهای تلسکوپ فضایی هابل در پیشرفت علم نجوم بی‌نظیرند. از آن جمله می‌توان به تخمین دقیق‌تر سرعت انبساط جهان و عمر عالم، تصویربرداری از یک سیاهچاله با جرم چندین میلیارد برابر خورشید، تصاویری واضح از تولد و مرگ ستارگان و کشف دورترین ابرنواختر در فاصله ۱۰ میلیارد سال نوری اشاره کرد. هزاران مقاله علمی براساس داده‌های هابل تاکنون منتشر شده است. تلسکوپی که قرار است جایگزین هابل شود تلسکوپ فضایی جیمز وب (James Webb Space Telescope; JWST) است. این تلسکوپ از ۱۸ قطعه آینه شش ضلعی تشکیل شده که آینه‌ای به قطر ۶/۵ متر را تشکیل می‌دهد، و از طول موج‌های مرئی تا مادون قرمز را رصد خواهد کرد. طراحی اولیه آن از ۱۹۹۶ شروع شد اما در سال ۲۰۱۶ بالاخره ساخته شد و پرتاب آن به دلایلی تا ۲۰۲۱ به تعویق افتاده است. وضوح و حساسیت بسیار بالای جیمز وب، گستره وسیعی از تحقیقات در زمینه‌های نجوم و کیهان‌شناسی را فراهم خواهد کرد [7].



شکل ۸. یکی از تلسکوپ‌های VLT در رصدخانه پارانال شیلی

تلسکوپ‌های ماژلان (Magellan) دو تلسکوپ بزرگ نوری با آینه‌های مقعری به قطر ۶/۵ متر هستند که در رصدخانه لاس کامپاناس (Las Campanas) در جنوب صحرای آتاکامای شیلی از سال ۲۰۰۰ آغاز به کار کرده‌اند (<https://obs.carnegie-science.edu/Magellan>). تلسکوپ بزرگی به نام تلسکوپ غول‌پیکر ماژلان (Giant Magellan Telescope; GMT) در این مکان در حال ساخت است که آینه آن شامل هفت قطعه به قطر ۸/۴ متر است که قدرت تفکیک آن برابر با یک آینه ۲۴/۵ متری می‌باشد. در بخش دیگری از صحرای آتاکامای شیلی، تلسکوپ بسیار بزرگ (Extremely Large Telescope; ELT) هم اکنون در دست ساخت است. این تلسکوپ به عنوان بزرگترین تلسکوپ نوری و مادون قرمز نزدیک جهان، یک تلسکوپ بازتابنده با یک آینه اولیه به قطر ۳۹/۳ متر و آینه ثانویه به قطر ۴/۲ متر است. قرار است این تلسکوپ ۱۰۰ میلیون بار نور بیشتر از چشم انسان و حدود ۲۵۶ برابر سطح جمع‌آوری نور تلسکوپ فضایی هابل را جمع‌آوری کند و تصاویری ۱۶ برابر واضح‌تر از تصاویر هابل ارائه دهد. انتظار می‌رود که این تلسکوپ بسیار بزرگ قادر به برآورد مراحل نخستین پیدایش سامانه‌های سیاره‌ای و تشخیص آب و مولکول‌های ارگانیک در قرص‌های پیش‌سیاره‌ای پیرامون ستاره‌ها باشد و در درک ماهیت بخش تاریک جهان و سیاهچاله‌ها و اولین کهکشان‌ها بسیار مؤثر واقع گردد. پیش‌بینی می‌شود اولین نورگیری با این تلسکوپ در سال ۲۰۲۵ صورت گیرد.

تلسکوپ‌های نوری فضایی

هرمان اوبرت (Hermann Oberth) در سال ۱۹۲۰ برای رفع بزرگترین مشکل ابزارهای نجومی نوری روی زمین یعنی اثرات جو،

آن مشاهده شده است. کوروت در سال ۲۰۱۱ به مأموریت خود پایان داد و در واقع با اکتشافات مهمش، راه را برای تلسکوپ‌های فضایی دیگری که برای مطالعه سیارات فراخورشیدی طراحی شدند هموار کرد [11].



شکل ۱۰. پرتاب تلسکوپ فضایی کپلر در سال ۲۰۰۹

تلسکوپ نوری فضایی کپلر (Kepler) ناسا در سال ۲۰۰۹ مأموریت خود را برای کشف سیارات فراخورشیدی آغاز کرد (شکل ۱۰). کپلر سیاره‌ای شبیه زمین به نام کپلر ۶۹ سی (Kepler-69C) در صورت فلکی ماکیان و اطراف ستاره کپلر ۶۹ کشف کرد که یکی از نخستین نامزدهای زندگی فرازمینی است که انسان از آن آگاهی پیدا کرده است. آمارها نشان می‌دهد حدود یک پنجم از ستاره‌های کهکشان راه شیری که بیش از ۱۰ میلیارد ستاره‌اند مشخصاتی شبیه خورشید منظومه شمسی ما دارند و ممکن است سیاره‌هایی مشابه زمین داشته باشند. تا ۲۰۱۸ کپلر توانست ۵۳۰۵۰۶ ستاره را مشاهده کند و ۲۶۶۲ سیاره فراخورشیدی را کشف کند [12]. با از کار افتادن کپلر در ۲۰۱۸ و برای ادامه مأموریتش، ناسا تلسکوپ فضایی دیگری به نام تس (Transiting Exoplanet Survey Satellite; TESS) را جایگزین آن کرد. تلسکوپ تس دوربین‌های میدان دید گسترده‌ای دارد که می‌تواند تا ۸۵ درصد آسمان را مساحی کند و در مرحله نخست تمرکز آن بر درخشان‌ترین ستارگان نزدیک به زمین برای بررسی آثار گذر سیاره‌های فراخورشیدی در پیرامون آنهاست [13]. در ۲۰۱۹ سازمان فضایی اروپا تلسکوپ فضایی چپاس (CHaracterising Exoplanets Satellite; CHEOPS) با قطر ۳۲ سانتیمتر را برای تعیین جرم و چگالی و ترکیب سیاره‌های فراخورشیدی تاکنون شناخته‌شده، به فضا فرستاد [14].



شکل ۹. تصویر فراژرف هابل، ناسا

هیپارکوس (HiPParCoS) اولین ماهواره آژانس فضایی اروپا (European Space Agency; ESA) بود که در سال ۱۹۸۹ میلادی به فضا پرتاب شد. مأموریت اصلی هیپارکوس تعیین فاصله ستارگان تا دقت ۰/۰۰۱ ثانیه قوسی بوده و حاصل سه سال کار آن، کاتالوگی از ۱۱۷۹۹۵ ستاره بود [8]. بعدها در سال ۲۰۱۳ تلسکوپ فضایی گایا (Gaia) برای اختراسنجی با دقت بی‌سابقه و ایجاد یک کاتالوگ سه‌بعدی از حدود ۱ میلیارد جرم سماوی به ویژه ستارگان کهکشان راه شیری کار خود را شروع کرد و برنامه آن تا سال ۲۰۲۰ ادامه داشت. گایا هر یک از ستارگان هدف را، در حدود ۷۰ بار طی یک دوره پنج ساله به منظور یافتن موقعیت، فاصله، و جابه‌جایی دقیق هر یک از هدف‌ها رصد کرد [9].

تلسکوپ موست (Microvariability and Oscillations of Stars; MOST) اولین تلسکوپ فضایی کاناداست که در سال ۲۰۰۳ در مدار زمین قرار گرفت. این تلسکوپ کوچک با قطر تنها ۱۵ سانتیمتر اولین تلسکوپ فضایی است که برای مأموریت اختزلرزه‌شناسی به کار گرفته شد و می‌توانست دو ماه بی‌وقفه به یک ستاره خیره شود و اطلاعاتی با کیفیت بالا از آن ثبت کند. در سال ۲۰۱۴، آژانس فضایی کانادا اعلام کرد دیگر هزینه‌های سالانه نیم‌میلیون دلاری این تلسکوپ را نخواهد پرداخت و پس از آن شرکت MSCI دارنده آن شد و در مارس ۲۰۱۹ سرانجام از دور کار خارج شد [10].

در سال ۲۰۰۶ مرکز ملی مطالعات فضایی فرانسه با هدف کاوش سیاره‌های فراخورشیدی، به ویژه سیاره‌های زمین‌سان، تلسکوپ فضایی کوروت (Convection, Rotation and planetary Transits; COROT) را به فضا پرتاب کرد. در میان کشف‌های قابل توجه این تلسکوپ نوری، می‌توان به کشف سیاره CoRoT-7b اشاره کرد که اولین سیاره فراخورشیدی است که ترکیب اصلی صخره و فلز در

- 8 **F. van Leeuwen** et al., *The HIPPARCOS mission: photometric data*, A & A **323** (61) (1997).
- 9 **A.G.A. Brown** et al., *Gaia Data Release 2*, A & A **616** (A1) (2018), DOI: 10.1051/0004-6361/201833051.
- 10 **Gordon Walker** et al., *The MOST Asteroseismology Mission: Ultraprecise Photometry from Space*, PASP **115** (1023) (2003), DOI: 10.1086/377358.
- 11 **M. Auvergne** et al., *The CoRoT satellite in flight: description and performance*, A & A **506** (411) (2009), DOI: 10.1051/0004-6361/200810860.
- 12 **William J. Borucki** et al., *Kepler Planet-Detection Mission: Introduction and First Results*, Science **327** (977) (2010), 977-980, DOI: 10.1126/science.1185402.
- 13 **Goerge R. Ricker**, *The Transiting Exoplanet Survey Satellite Mission*, AAVSO **42** (1) (2014), 234.
- 14 **C. Broeg** et al., *CHEOPS: A transit photometry mission for ESA's small mission programme*, EPJ Web of Conferences **47** (03005) (2013), DOI: 10.1051/epjconf/20134703005.
- 1 **Peter Schneider**, *Extragalactic Astronomy and Cosmology: An Introduction*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2015, DOI: 10.1007/978-3-642-54083-7.
- 2 **Peter Adamson**, *Philosophy in the Islamic World: A History of Philosophy Without Any Gaps*, Oxford University Press, 2016.
- 3 **Henry C. King**, *The History of Telescope*, Dover Publications, 2003.
- 4 **René Racine**, *The Historical Growth of Telescope Aperture*, PASP **116** (77) (2004), DOI: 10.1086/380955.
- 5 **Edwin P. Hubble**, *Extragalactic nebulae*, Astrophysical Journal **64** (1926), 321-369, DOI: 10.1086/143018.
- 6 **Sang Chul Kim**, *Paper Productivity of Ground-based Large Optical Telescopes from 2000 to 2009*, PASA **28** (3) (2011), 249-260, DOI: 10.1071/AS11011.
- 7 **Iva Laginja** et al., *James Webb Space Telescope Optical Simulation Testbed: Segmented Mirror Phase Retrieval Testing*, American Astronomical Society **231** (2018), id. 355.53.

گزیده‌ای از واژه‌های مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در زمینه نجوم

فرهنگستان زبان و ادب فارسی تاکنون بالغ بر ۸۷۰ واژه نجومی را به تصویب رسانده که در اینجا گزیده‌ای از آنها را که پرکاربردترند (به انتخاب دکتر آرش دانش از پژوهشکده نجوم) ملاحظه می‌کنید.

aberration of star light	دستگاه مختصات سمتی ارتفاعی	anomalistic year	سال انحرافی
آبیراهی نور ستاره	alt-az coordinates 2	antapex→solar antapex	
absolute magnitude	مختصات سمتی ارتفاعی	apastron	اوج اختری
قدر مطلق	Andromeda, And	aphelion	اوج خورشیدی
accretion disk	امراه‌المسلسله	apocentre	اوج مرکزی
قرص برافزایشی	angular diameter	apogee	اوج زمینی
acronical rising	قطر زاویه‌ای	apparent diameter	قطر ظاهری
طلوع مقابله‌ای	angular resolution	apparent magnitude	قدر ظاهری
active galactic nucleus	تفکیک زاویه‌ای	apparent solar day	
هسته فعال کهکشانی	angular separation		
سالنمای نجومی	جدایی زاویه‌ای		
almanac	آبیراهی سالانه		
alt-az coordinates 1	annual aberration		
	annular eclipse		
	خورگرفت حلقوی		

روز خورشیدی ظاهری	دستگاه مختصات سماوی	Gemini, Gem, Twins جوزا، دویپکر
apparent solar time	celestial coorniates 2 مختصات سماوی	geocentric parallax→diurnal parallax
زمان خورشیدی ظاهری	celestial equator استوای آسمان	
apse→apsis	Cepheus, Cep قیفاووس	geomagnetic storm→magnetic storm
apse line→apsidal line	chromosphere فام سپهر	
apsidal line, line of apsides, apse line	circumpolar دور قطبی	grazing occultation اختفای خراشان
خط اوج و حضیض	civil day روز رسمی	heliacal rising طلوع مقارنه‌ای
apsidal motion حرکت اوج و حضیض	civil time زمان رسمی	heliocentric coordinate system,
apsis, apse اوج یا حضیض	civil year, calendar year سال رسمی	heliocentric coordinates 1
Aries, Ari, Ram حَمَل، قوچ، بره	cluster of galaxies خوشهٔ کهکشانی	دستگاه مختصات خورشیدمرکز،
asterism صورتوارهٔ فلکی	collapsar رُمب اختر	دستگاه مختصات خورشیدمرکز
asteroid سیارک	colour-magnitude relation,	heliocentric coordinates 2
astration اخترش	CM relation,	مختصات خورشیدمرکز
astrobiology اخترزیست‌شناسی	colour-luminosity relation	heliocentric longitude طول خورشیدمرکز
astrobleme اختر داغ	comet ستارهٔ دنباله‌دار، دنباله‌دار	heliographic coordinate system,
astrochemistry اخترشیمی	constellatin صورت فلکی	heliographic coordinates
astrodynamics	coordinated universal time	دستگاه مختصات خورشیدنگاشتی،
اخترپویاشناسی، اختردینامیک	ساعت هماهنگ جهانی	دستگاه مختصات خورشیدنگاشتی
astrograph اخترنگار	corona تاج	heliopause خورمرز
astrolabe اسطرلاب	cosmic-ray shower بارش پرتوکیهانی	heliosphere خورسپهر
astrometry اخترسنجی	crater→meteoritic crater	hercules, Her جاثی
astronavigation اخترناوبری	declination میل	horizontal coordinate system,
astronomical table زیج	detached binary دوتایی جدا	horizontal system of coordinates,
astronimical unit واحد نجومی	disk galaxy کهکشان قرص‌گون	horizontal coordinates
astrophysics اخترفیزیک	diurnal motion حرکت روزانه	دستگاه مختصات افقی
aurora شفق قطبی	diurnal parallax, geocentric parallax	Horologium, Hor, Pendulum Clock
autumnal equinox اعتدال پاییزی	اختلاف منظر روزانه	ساعت
azimuth سمت	double star ستارهٔ دوگانه	hour angle زاویهٔ ساعتی
barred spiral galaxy کهکشان مارپیچی-میله‌ای	dwarf galaxy کهکشان کوتوله	hour circle دایرهٔ ساعتی
barycentric coordinates مختصات مرکزجرمی	eclipse year سال گرفتی	interacting binary دوتایی برهم‌کنشی
barycentric dynamical time	eclipsing binary, eclipsing variable	interplanetary medium محیط میان‌ستاره‌ای
زمان دینامیکی مرکزجرمی	دوتایی گرفتی	interstellar gas گاز میان‌ستاره‌ای
binary star ستارهٔ دوتایی	eclipsing variable→ eclipsing binary	irregular galaxy کهکشان نامنظم
blue giant غول آبی	ecliptic دایرهٔ البروج	lander سطح‌نشین
bolide آتش‌گوی	fireball, large meteor آذرگوی	leap year سال کبیسه
bolometric magnitude قدر تام	Fishes→Pisces	lenticular galaxy کهکشان عدس‌گون
Bull→Taurus	flare شراره	light pollution آلودگی نوری
calendar year→civil year	full Moon بدر	limb darkening تاریکی لبه
Capricornus, Cap, Sea Goat جَدّی، بزغاله	galactic disk قرص کهکشان	limiting nagitude قدر حدی
Cassiopeia, Cas ذات‌الکرسی	galactic plane صفحهٔ کهکشان	Line of apsides→apsidal line
celestial coordinate system,	galaxy کهکشان	lunar eclipse خسوف
celestial coorniates 1	Galaxy→Milky Way Galaxy کهکشان راه شیری	lunar year سال قمری
		Magellanic Clouds آبرهای مائزلان
		magnetic storm, geomagnetic storm

magnitude	قدر	principal meridian	نصف النهار مبدأ	spherical coordinates 2,	
mean noon	ظهر متوسط	protoplanetary nebula 1	پیش‌سحابی سیاره‌نما	spherical polar coordinates 2	مختصات کروی
mean solar day	روز خورشیدی متوسط	protoplanetary nebula 2		spiral galaxy	کهکشان مارپیچی
mean solar time	زمان خورشیدی متوسط		سحابی پیش‌سیاره	sporadic meteor	تک‌شهاب
meteor	شهاب	quarter	تربیع	standard meridian	نصف النهار معیار
meteor shower	بارش شهاب	quasar	اختروش	standard star	ستاره معیار
meteorite	شهاب‌سنگ	Ram→Aries		star cloud	ابر ستاره‌ای
meteoritic crater, crater	دهانه برخوردی	red giant	غول سرخ	star cluster	خوشه ستاره‌ای
		redshift-magnitude relation	رابطه قدر-انتقال به سرخ	star density	چگالی ستاره‌ای
meteoroid	شهاب‌واره	relay lens→transfer lense		star formation	ستاره‌زایی
Milk Way Galaxy, Galaxy		right ascension	بُعد	star formation rate, SFR	
کهکشان راه شیری		rover	سطح‌نورد	star streaming	آهنگ ستاره‌زایی
molecular cloud	ابر مولکولی	satellite→natural satellite		starquake	جریان ستاره‌ای
Moon	ماه	sea Goat→Capricornus		starspot	اختزلزه
natural satellite, satellite	قمر	semidetached binary	دوتایی نیم‌جدا	stellar association	لکه ستاره‌ای
nebula	سحابی	Serpent Bearer→Ophiuchus		stellar atmosphere	جمع ستاره‌ای
nebular line	خط سحابی	Sextant→Sextans		stellar evolution	جو ستاره
nebular redshift	انتقال به سرخ سحابی	Sextans, Sex, Sextant	سُدس		تحول ستاره، تحول ستارگان
nova, N	نواختر	shell burning	پوسته‌سوزی	stellar wind	باد ستاره‌ای، اخترباد
occultation	اختفا	sidereal day	روز نجومی	summer solstice	انقلاب تابستانی
open cluster, galactic cluster	خوشه باز	sidereal month	ماه نجومی	sundial	ساعت آفتابی
Ophiuchus, Oph, Serpent Bearer	حوا	sidereal period	دوره نجومی	supergiant	ابرغول
		sidereal year	سال نجومی	supernova	آبرنواختر
Orion, Ori	جبار	skyglow	آسمان‌تاب	synodic period	دوره هلالی
parallactic ellipse	بیضی اختلاف‌منظر	solar activity	فعالیت خورشیدی	Taurus, Tau, Bull	ثور
parallax	اختلاف‌منظر	solar antapex, antapex	پادا‌ماج خورشیدی	topocentric coordinate system,	
peculiar motion	حرکت خاص		ثابت خورشیدی	topocentric coordinates 1	
Pendulum clock→Horologium		solar constant	کسوف		دستگاه مختصات ناظرمرکز
perigee	حضيض زمینی، حضيض	solar eclipse	اختلاف‌منظر خورشیدی	topocentric coordinates 2	
perihelion	حضيض خورشیدی، حضيض	solar parallax	منظومه شمسی		مختصات ناظرمرکز
Perseus, Per	برساوش	solar system	زمان خورشیدی	transfer lens, relay lens	عدسی انتقال
phases of the Moon	أهله ماه	solar time	باد خورشیدی	tropical year	سال اعتدالی
Pisces, Psc, Fishes	حوت	solar wind	سال شمسی	Twins→Gemini	
planetographic coordinate system,		solar year	انقلابین	universal time,	
planetographic coordinates		solstices	خورطیف‌نگاشت	Greenwich Mean Time	ساعت جهانی
	دستگاه مختصات سیاره‌نگاشتی	spectroheliogram	خورطیف‌نگار	vernal equinox	اعتدال بهاری
planetography	سیاره‌نگاری	spectroheliograph	دوتایی طیف‌نمودی	winter solstice	انقلاب زمستانی
postnova	پس‌نواختر	spectroscopic binary	دوتایی طیفی	zenith	سمت الرأس
precession	حرکت تقدیمی	spectrum binary		zenith distance	فاصله سمت الرأس
precession of equinoxes	تقدیم اعتدالین	spherical coordinate system 1,		zodiac	منطقه البروج
prenova	پیش‌نواختر	spherical coordinates 1,			
prime Meridian	نصف النهار مبنا	spherical polar coordinates 1			
primeval nebula	سحابی اولیه		دستگاه مختصات کروی		



جدول فاصله‌های کیهانی

تعیین فاصله‌های اجرام آسمانی، یا مبحثی که می‌توان آن را اخترسنجی (astrometry) نامید، از قدیم مورد توجه منجمان بوده است. ترنس تائو (Terence Tao)، ریاضیدان مشهور و برنده مدال فیلدز، چند سال پیش سخنرانی عمومی جالبی درباره تاریخچه و نحوه اندازه‌گیری این فاصله‌ها و سلسله مراتب آنها یا به اصطلاح «نردبان فاصله‌های کیهانی»، با تأکید بر نقش ریاضیات در ساختن این نردبان، ایراد کرد. ماحصل آن سخنرانی، شامل تعداد زیادی اسلاید و تصویر و جدول، در ویلاگ تائو در دسترس قرار دارد. به مناسبت اختصاص این شماره به نجوم، در اینجا جدول این فاصله‌ها برآساس نخستین اندازه‌گیری آنها و در صفحات ۳۱ تا ۳۷ تعدادی از آن تصویرها و خلاصه‌ای از توضیحات تائو درباره نحوه اندازه‌گیری فاصله‌ها آمده است. از دکتر آرش دانش برای تلخیص و ترجمه آن توضیحات سپاسگزاریم.

جرم آسمانی	فاصله (برحسب متر)	نخستین اندازه‌گیری (نسبی) توسط
زمین	1.7×10^7 (قطر)	اراتوستن (حدود ۲۴۰ ق م)
ماه	3.6×10^8 (از زمین)	آریستارخوس (حدود ۲۷۰ ق م)
خورشید	1.5×10^{11} (از زمین)	آریستارخوس (حدود ۲۷۰ ق م) کوک و دیگران (Cook etc, ۱۷۶۱, ۱۷۶۱)
مریخ	2.3×10^{11} (از خورشید)	کپرنیک (۱۵۴۳)
زحل یا کیوان	1.5×10^{12} (از خورشید)	کپرنیک (۱۵۴۳)
پلوتو	7.4×10^{12} (از خورشید)	تامبو (Tombaugh, ۱۹۳۰)
پروکسیما قنطورس (آلفا قنطورس)	4.0×10^{16}	آلدن (Alden, ۱۹۲۸)
۶۱ - ماکیان (Cygni 61)	1.1×10^{17}	بسل (Bessel, ۱۹۳۸)
خوشه ستاره‌ای قلائص	1.4×10^{18}	اسمارت (۱۹۳۹)
خوشه پروین	4.2×10^{18}	دت‌وایلر و دیگران (Detweiler et al., ۱۹۸۴)
مرکز کهکشانی	2.6×10^{20}	شپلی (Shapley, ۱۹۱۴)
ابر ماژلانی بزرگ	1.5×10^{21}	آرپ (۱۹۶۷)
کهکشان آندرومدا	2.4×10^{22}	هابل (۱۹۲۳)
کهکشان NGC 4603	1.0×10^{24}	تلسکوپ فضایی هابل (۱۹۹۹)
دیوار بزرگ اسلون	1.3×10^{25} (قطر)	گوت و دیگران (Gott et al., ۲۰۰۳)
آبر نوآختر نوع Ia	1.0×10^{26}	تلسکوپ فضایی هابل (۱۹۹۷)
فوران پرتو گاما	1.2×10^{26}	ماهواره سوئیفت (۲۰۰۹)
کهکشان UDFY-38135539	1.2×10^{26}	لنرت و دیگران (Lehnert et al., ۲۰۱۰)
جهان قابل مشاهده	2.8×10^{26} (قطر)	هابل (۱۹۲۹)
کل عالم	$> 7.2 \times 10^{26}$	کورنیش و دیگران (Cornish et al., ۲۰۰۴)

• نردبان فاصله‌های کیهانی

۴) فاصله خورشید تا ستارگان نزدیک چقدر است؟

۵) فاصله خورشید تا ستارگان دور چقدر است؟

اما به علت زیاد بودن فاصله‌ها در نجوم، اندازه‌گیری مستقیم آنها غیرممکن است. بنابراین به روش‌های غیرمستقیم متوسل می‌شوند. در این روش‌ها برای اندازه‌گیری فاصله‌های بزرگ از مقیاس فاصله‌های کوچک استفاده می‌گردد. برای اندازه‌گیری فاصله‌های کوچک از مقیاس فاصله‌های کوچک‌تر استفاده می‌شود، و آنقدر این روش را ادامه می‌دهند تا به اندازه‌ای برسند که بتوان به روش مستقیم فاصله را اندازه‌گیری کرد.

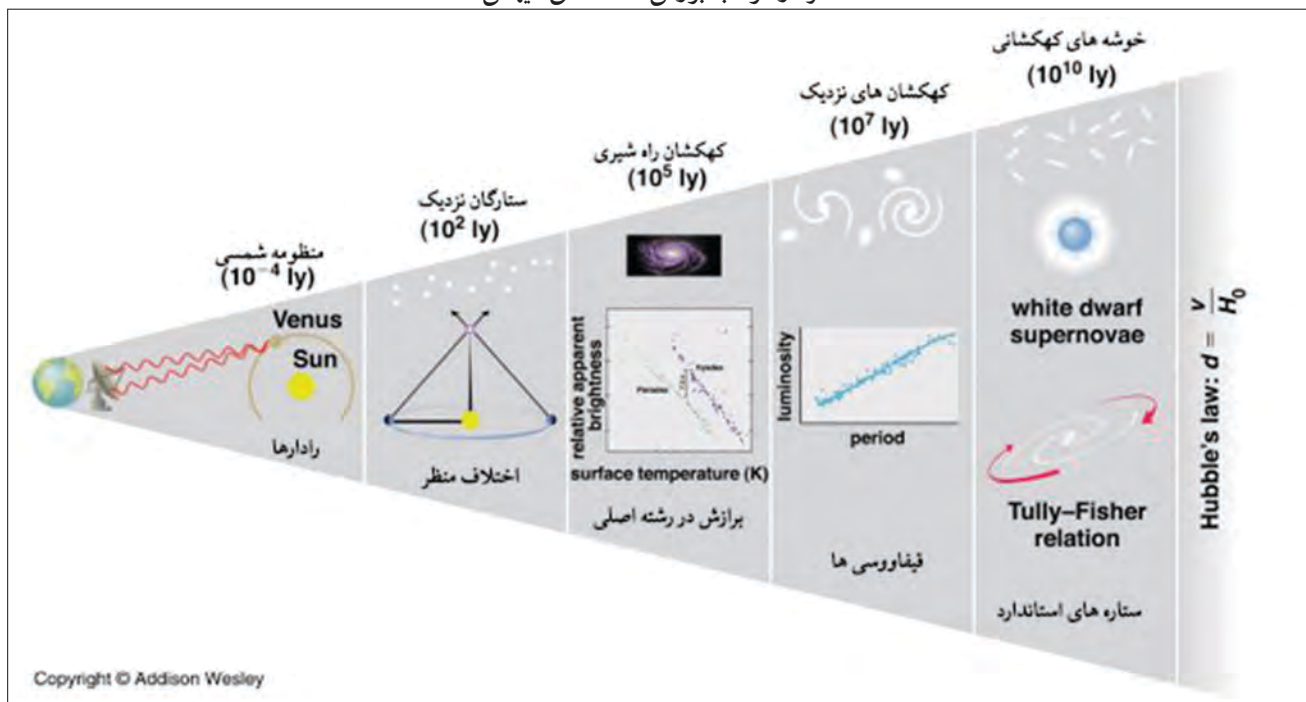
«اخترسنجی» یا اندازه‌گیری فاصله‌ها و حرکات اجرام آسمانی، یکی از شاخه‌های اصلی و قدیمی علم نجوم است. اندازه‌گیری این فواصل بیشتر از آنکه بر فناوری استوار باشد، بر روش‌های ریاضی و رصد تکیه داشته است. سؤالات اساسی در اخترسنجی از این دست‌اند:

۱) فاصله زمین تا ماه چقدر است؟

۲) فاصله زمین تا خورشید چقدر است؟

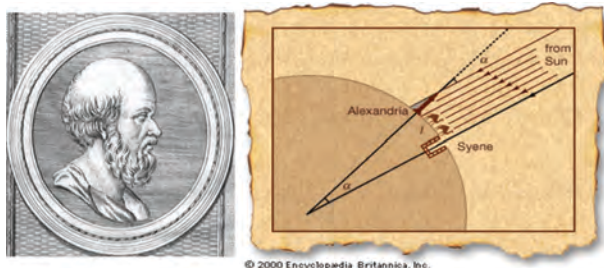
۳) فاصله خورشید تا سیارات دیگر چقدر است؟

نمودار مراتب بزرگی فاصله‌های کیهانی



پله اول: زمین

می‌دانست که فاصله اسکندریه و سین حدود ۵۰۰۰ استادیوم (حدود ۷۴۰ کیلومتر) است. این تنها اندازه‌گیری مستقیم است که در اینجا استفاده می‌شود و می‌توان آن را «پله صفر» روی نردبان فاصله کیهانی دانست. با این اطلاع، مثلثات دبیرستان برای تخمین شعاع زمین کافی است.



اراتوستن و روش اندازه‌گیری شعاع زمین

امروزه می‌دانیم که زمین تقریباً کروی است و به کمک ماهواره‌های مدرن، با دقت بسیار بالایی شعاع زمین را در استوا و قطب‌ها اندازه گرفته‌ایم (به ترتیب، ۶۳۷۸ و ۶۳۵۶ کیلومتر). اما فرض کنید هیچ فناوری پیشرفته‌ای مانند فضاپیماها، اقیانوس‌پیماها و امکانات دیگری مانند بالن‌ها، یا حتی تلسکوپ و جایاب (sextant) نداریم. آیا باز هم می‌توانیم نیم‌شعاع زمین را محاسبه کنیم یا حتی بگوییم که به شکل کره است؟ جواب مثبت است. به شرطی که کمی هندسه بدانیم.

ارسطو (۳۲۲-۳۸۴ ق م) استدلال غیرمستقیم قانع‌کننده‌ای ارائه کرد که نشان می‌داد زمین چرا به شکل کره است (این ادعا پیشتر توسط پارمنیدس (۴۵۰-۵۱۵ ق م) مطرح شده بود).

ارسطو استدلال کرد که ماه‌گرفتگی در اثر قرار گرفتن سایه زمین روی ماه رخ می‌دهد. اما مرز این سایه روی ماه همیشه یک کمان دایره‌ای است و مهم نیست موقعیت ماه و خورشید چه باشد. بنابراین هر طرح سایه‌ای از زمین یک دایره است، به این معنی که زمین به احتمال زیاد یک کره است. به عنوان مثال، زمین نمی‌تواند یک دیسک باشد، زیرا سایه‌ها در این حالت به جای کمان‌های دایره‌ای شکل، کمان‌های بیضوی می‌شوند. وی همچنین استدلال کرد که شعاع زمین نمی‌تواند بسیار زیاد باشد، زیرا برخی از ستارگان را می‌توان در مصر دید، اما در یونان دیده نمی‌شوند و بالعکس، اما نتوانست اندازه دقیقی برای این شعاع به دست آورد.

اراتوستن (۱۹۴-۲۷۶ ق م) شعاع زمین را در حدود ۴۰۰۰ استادیوم یا ۶۸۰۰ کیلومتر محاسبه کرد (هر استادیوم تقریباً معادل ۱۸۵ متر بوده است). از آنجایی که شعاع زمین بین ۶۳۷۸ و ۶۳۵۶ کیلومتر است، اندازه‌گیری‌های اراتوستن تنها ۸ درصد خطا دارد. وی نخستین کسی بود که شعاع زمین را محاسبه کرد. او می‌دانست که در اواسط ظهر تابستان (در انقلاب تابستانی، ۲۱ ژوئن) نور خورشید در شهر سین (Syene) در مصر (که امروزه به نام اسوان خوانده می‌شود)، به طور قائم درون چاه عمیقی که در آن شهر وجود داشت می‌تابد و ته چاه روشن است، در صورتی که در همان ساعت و در شهر اسکندریه که به فاصله تقریبی ۷۴۰ کیلومتر از سین قرار داشت، امتداد شاغولی دارای سایه است. او بعد از اندازه‌گیری متوجه شد که در این نقطه آفتاب با امتداد شاغولی زاویه $\frac{1}{2}$ درجه تشکیل می‌دهد. این زاویه برابر است با یک پنجاهم کمان یک دایره (که ۳۶۰ درجه می‌باشد). او با استفاده از روابط ساده هندسی توانست شعاع کره زمین را محاسبه کند.

اراتوستن براساس اطلاعات کاروان‌های تجاری و دیگر منابع

پله دوم: ماه

(۱) ماه چه شکلی دارد؟

(۲) شعاع ماه چقدر است؟

(۳) فاصله ماه از زمین چقدر است؟

به این سؤالات هم یونانیان باستان با دقت قابل توجهی پاسخ دادند.

ارسطو استدلال می‌کرد که ماه یک کره است (نه یک دیسک) زیرا انتهای مرز نور خورشید روی ماه همیشه یک کمان دایره‌ای است.

آریستارخوس (۲۳۰-۳۱۰ ق م) فاصله زمین تا ماه را حدود ۶۰ برابر شعاع زمین محاسبه کرد (در واقع بین ۵۷ و ۶۳ برابر شعاع زمین است که به دلیل خروج از مرکز مدار تغییر می‌کند). همچنین او شعاع ماه را $\frac{1}{3}$ شعاع زمین تخمین زد (شعاع ماه در واقع $\frac{0}{273}$ شعاع زمین است).

آریستارخوس [ارسطرخس] می‌دانست که ماه‌گرفتگی ناشی از سایه زمین و قطر سایه تقریباً دو برابر شعاع زمین است (با این فرض که خورشید بسیار دور از زمین است؛ اطلاعات بیشتر در این مورد در «پله سوم»).

مشاهدات گوناگون نشان دادند که گرفتگی ماه حداکثر سه ساعت طول می‌کشد. همچنین می‌دانستند که یک دور چرخش کامل ماه به دور زمین یک ماه طول می‌کشد. با استفاده از این اطلاعات و اندکی محاسبات جبری ساده، آریستارخوس نتیجه گرفت که فاصله زمین تا ماه حدود ۶۰ برابر شعاع زمین است.

۲۰ برابر فاصله تا ماه است؛ که نادرست بود (مقدار واقعی تقریباً ۳۹۰ برابر است). علت آن این بود که اگرچه روش ریاضی مورد استفاده او اساساً درست بود، اما بسیار خطا داشت. هیپارخوس (۱۲۰-۱۹۰ ق م) و بطلمیوس (۱۶۸-۹۰ م) نسبت دقیق‌تر ۴۲ را به دست آوردند.



خورشید گرفتگی

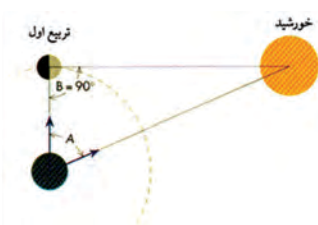
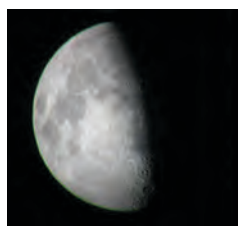
هیپارخوس

بطلمیوس

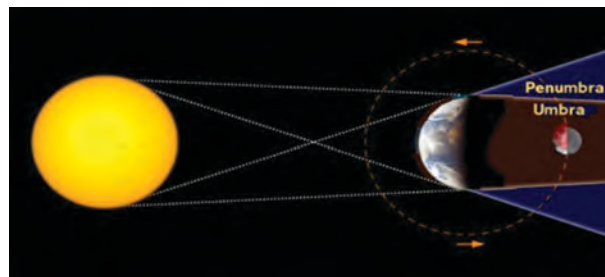
با این حال، این نتایج برای اثبات این واقعیت مهم که خورشید بسیار بزرگتر از زمین است؛ کافی بود. بر همین مبنا، آریستارخوس نتیجه گرفت که فکر گردش خورشید به دور زمین نامعقول است و بیش از ۱۷۰۰ سال قبل از کوپرنیک مدل خورشیدمرکزی را ارائه داد! (کوپرنیک نیز در اثر معروف خود آریستارخوس را صاحب اصلی این نظریه می‌داند).

از قضا، مدل خورشیدمرکزی آریستارخوس را متفکران بعدی یونان باستان نپذیرفتند. از آنجا که فاصله تا ماه در پله قبلی نردبان مشخص شد، اکنون اندازه و فاصله تا خورشید را می‌دانیم (فاصله تا خورشید به عنوان واحد نجومی (AU) شناخته می‌شود و برای سه پله بعدی نردبان بسیار مهم خواهد بود).

روش کار آریستارخوس این شکل بود: او می‌دانست که هر ماه نو یک ماه قمری پس از ماه قبل است. با مشاهدات دقیق، دریافت که تربیع اول کمی زودتر از دقیقاً وسط ماه نو و ماه کامل رخ می‌دهد. او این اختلاف را ۱۲ ساعت اندازه‌گیری کرد (متأسفانه اندازه‌گیری دقیق تربیع اول کاملاً دشوار است و اختلاف واقعی نیم ساعت است). با استفاده از مثلثات ابتدایی، فاصله تا خورشید تقریباً ۲۰ برابر فاصله تا ماه به دست می‌آید.



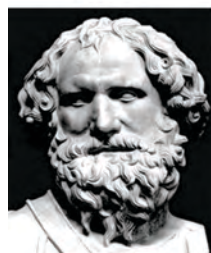
تربیع اول



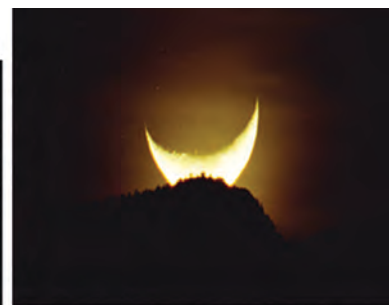
سایه - نیم‌سایه

غروب ماه حدود ۲ دقیقه طول می‌کشد (۱/۷۲۰ شبانه‌روز). بنابراین قطر زاویه‌ای ماه ۱/۷۲۰ اندازه یک زاویه کامل یا ۱/۲ درجه قوسی یا به عبارت دقیق‌تر ۳۱ دقیقه قوسی است.

از آنجا که آریستارخوس می‌دانست فاصله ماه تا زمین ۶۰ برابر شعاع زمین است، با استفاده از مثلثات پایه، شعاع ماه را تقریباً ۱/۳ شعاع زمین به دست آورد (ولی در محاسبه او به مقدار دقیق عدد π نیاز بود که او در اختیار نداشت و باید چند دهه منتظر می‌ماند تا ارشمیدس (۲۱۲-۲۸۷ ق م) این مقدار را به دست بیاورد!).



ارشمیدس



غروب ماه دو دقیقه طول می‌کشد

پله سوم: خورشید

(۱) شعاع خورشید چقدر است؟

(۲) فاصله خورشید تا زمین چقدر است؟

یونانیان باستان توانستند به این سوال هم پاسخ دهند! (هر چند بدون دقت کافی). روش آنها غیرمستقیم و مبتنی بر ماه بود. آریستارخوس از قبل محاسبه کرده بود که شعاع ماه تقریباً ۱/۱۸۰ فاصله ماه تا زمین است. از آنجا که قطر زاویه‌ای خورشید و ماه تقریباً یکسان هستند (در هنگام خورشید گرفتگی به وضوح دیده می‌شود)، او با استفاده از مثلث‌های متشابه نتیجه گرفت که شعاع خورشید هم ۱/۱۸۰ فاصله خورشید تا زمین است (پاسخ درست ۱/۲۱۵ است). همچنین به کمک مثلثات تخمین زد که فاصله تا خورشید تقریباً

پله چهارم: سیارات

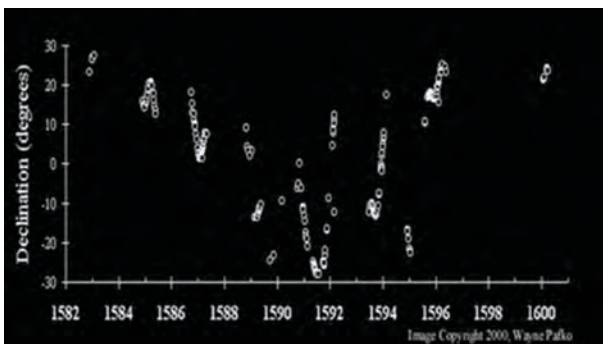


تیکو براهه



کپلر

رصدهای دقیق نجومی تیکو براهه (۱۶۰۱-۱۵۴۶) و استدلال ریاضیاتی یوهانس کپلر (۱۶۳۰-۱۵۷۱) به این نتیجه انجامید که مدار مریخ در واقع دایره‌ای کامل نیست، بلکه در مداری بیضوی می‌چرخد. این اطلاعات منجر به قوانین حرکت کپلر شد که نظریه جاذبه نیوتن از آن الهام گرفت.



رصدهای تیکو براهه از مریخ

نظریه کوپرنیک فرض می‌کرد که زمین و مریخ در یک مدار دایره‌ای کامل حرکت می‌کنند. کپلر متوجه شد که چنین نیست. این کاملاً با مشاهدات براهه همخوانی نداشت. اما چگونه مدار صحیح مریخ را پیدا می‌کنیم؟ مشاهدات براهه زاویه بین خورشید و مریخ را از زمین بسیار دقیق نشان می‌دهد. اما زمین ثابت نیست و ممکن است در یک مدار دایره‌ای کامل حرکت نکند. علاوه بر این فاصله زمین تا مریخ معلوم نبود، مدار مریخ ناشناخته بود. بنابراین محاسبه دقیق مدار مریخ با استفاده از این داده‌ها ناممکن به نظر می‌رسید.

برای حل این مشکل، کپلر دو ایده بسیار هوشمندانه ارائه داد. برای محاسبه دقیق مدار مریخ، ابتدا مدار زمین را به طور دقیق محاسبه کرد. اگر بدانید زمین در هر لحظه دقیقاً کجاست، با محاسبات ریاضی

منجمان باستان می‌دانستند که خورشید و سیارات تنها در منطقه البروج حرکت می‌کنند، و این بدان معناست که منظومه شمسی اساساً روی یک صفحه دوطبقه قرار دارد (دایره البروج). اما سؤالات دیگری نیز مطرح بودند:

(۱) فاصله سیاره‌ها (مثلاً مریخ) تا خورشید چقدر است؟

(۲) مدار آنها به چه شکل است؟

(۳) چه مدت طول می‌کشد تا دور خورشید بچرخند؟

بطلمیوس (۱۶۸-۹۰ م) پاسخ‌هایی به این پرسش‌ها داد، اما پاسخ‌هایی بسیار نادقیق، که دلیلش استفاده او از مدل زمین‌مرکزی به جای مدل خورشیدمرکزی برای منظومه شمسی بود.

نیکولاس کوپرنیک (۱۴۷۳-۱۵۴۳) نخستین کسی بود که پاسخ‌های دقیق را به دست آورد. وی دوره تناوب مریخ (یک سال مریخی) را ۶۸۷ روز و فاصله آن تا خورشید را ۱/۵ واحد نجومی تخمین زد. هر دو اندازه‌گیری تا دو رقم اعشار دقیق است (بطلمیوس این مقادیر را ۱۵ سال (!) و ۴/۱ واحد نجومی به دست آورده بود).

کوپرنیک چگونه این کار را انجام داد؟ بابلی‌ها قبلاً می‌دانستند که حرکت ظاهری مریخ در آسمان هر ۷۸۰ روز (دوره هلالی مریخ) تکرار می‌شود. مدل کوپرنیک ادعا می‌کند که زمین هر سال خورشیدی (۳۶۵ روز) یکبار به دور خورشید می‌چرخد. با کم کردن دو سرعت زاویه‌ای نسبی، سال واقعی مریخ (سال نجومی) ۶۸۷ روز حاصل می‌شود. زاویه بین خورشید و مریخ از روی زمین را می‌توان با استفاده از یک ستاره مرجع محاسبه کرد. کوپرنیک با استفاده از اندازه‌گیری از این زاویه در تاریخ‌های مختلف، همراه با اندازه‌گیری سرعت زاویه‌ای فوق و اندکی مثلثات پایه، فاصله مریخ تا خورشید را تقریباً ۱/۵ واحد نجومی محاسبه کرد.



کوپرنیک

می‌توان حرکت زمین را در محاسبات وارد کرد و اثر آن را خنثی نمود. برای محاسبه مدار زمین، از خود مریخ به عنوان یک مرجع ثابت استفاده کرد! برای مشخص کردن موقعیت زمین در هر لحظه، دو اندازه‌گیری نیاز است (زیرا صفحه منظومه شمسی دوبعدی است)، جهت خورشید (نسبت به دیگر ستارگان) و جهت مریخ، اما مریخ نیز حرکت می‌کند!

قطر کهکشان راه شیری برابر با ۱۰۰ هزار سال نوری است.

دورترین ستاره قیفاووسی کشف شده (با تلسکوپ فضایی هابل) در فاصله ۱۰۸ میلیون سال نوری است.

قطر عالم بزرگ‌تر از ۹۳ میلیارد سال نوری است.

برای سرعت نور به دست آوردند، بسیار کمتر از مقدار واقعی آن که از روش‌های مدرن به دست آمده است یعنی ۲۹۹۷۹۲ کیلومتر در ثانیه. رامر با استفاده از اندازه‌گیری زمان ورود Io به سایه مشتری و زمان خروج آن از سایه، سرعت چرخش Io به دور مشتری را ۴۲/۵ ساعت اندازه‌گیری کرد. اما این بازه یکنواخت نبود. وقتی زمین با مشتری در یک راستا بود تا زمانی که به جهت مخالف مشتری منتقل می‌شد، این بازه زمانی حدود ۲۰ دقیقه عقب می‌ماند. هویگنس استدلال کرد که نور برای پیمودن مسافتی به اندازه ۲ واحد نجومی به ۲۰ دقیقه زمان نیاز دارد (در واقع حدود ۱۷ دقیقه طول می‌کشد). هویگنس برای به دست آوردن سرعت نور این محاسبات را با محاسبه‌ای دقیق از یک واحد نجومی (حداقل برای زمان خود) ترکیب کرد.

اکنون دقیق‌ترین اندازه‌گیری فاصله تا سیارات توسط رادار به دست می‌آید که به مقدار دقیق سرعت نور نیاز دارد. سرعت نور را در حال حاضر می‌توان با استفاده از ابزارهای زمینی با دقت بسیار بالا اندازه‌گیری کرد، بنابراین نردبان فاصله‌ها دقت بیشتری خواهد داشت. داده‌های جمع‌آوری شده از این پله‌های نردبان علاوه بر پیشرفت بیشتر فیزیک برای رسیدن به پله‌های بالاتر نردبان تعیین‌کننده بوده است.

جیمز کلارک ماکسول (۱۸۷۹-۱۸۳۱) ملاحظه کرد که سرعت نور با سرعتی که نظریه تابش الکترومغناطیسی او پیش‌بینی می‌کند تقریباً مطابقت دارد، و از اینجا به این نتیجه مهم رسید که نور، نوعی تابش الکترومغناطیسی است. این نتیجه‌گیری در نظریه نسبیت خاص اینشتین اهمیت اساسی داشت و همچنین به پیدایش طیف‌نگاری انجامید. معادلات ماکسول و اندازه‌گیری دقیق سرعت نور نشان داد که سرعت نور در خلا و هر چارچوب مرجعی که معادلات ماکسول برای آن برقرار است، یک ثابت جهانی است.

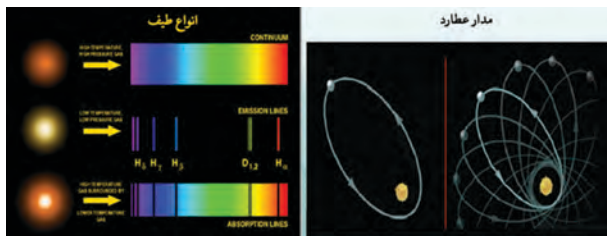
اینشتین استدلال کرد که معادلات ماکسول به عنوان یک قانون اساسی در فیزیک، باید در هر چارچوب مرجع لخت وجود داشته باشد. دو فرضیه فوق ناگزیر به نظریه نسبیت خاص منجر می‌شوند. این نظریه در پله نهم نردبان، برای درک ارتباط دقیق سرخ‌گرایی با سرعت، مهم می‌شود.

هوشمندی کپلر اندازه‌گیری‌هایی با فاصله ۶۸۷ روز بود، یعنی زمانی که مریخ به محل قبلی خود در آسمان بازمی‌گشت و بنابراین به عنوان یک نقطه ثابت عمل می‌کرد. پس می‌توان بین خورشید و مریخ یک مثلث رسم کرد تا موقعیت زمین به دست بیاید. هنگامی که مدار زمین محاسبه شد، می‌توان این ترفند را وارونه کرد و سپس مدار مریخ را نیز محاسبه کرد. این اندازه‌گیری‌ها با قوانین جاذبه نیوتن قابل توجه نبود و به عنوان اولین قدم‌ها در تأیید نظریه نسبیت عام از آن یاد می‌شود.

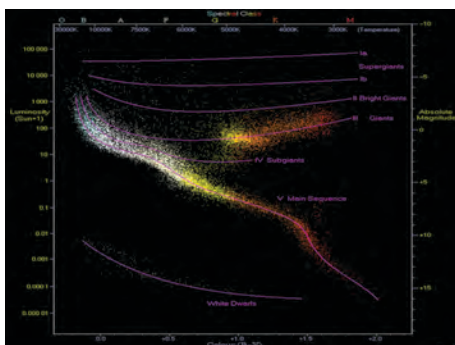
آلبرت اینشتین (۱۹۵۵-۱۸۷۹) از این ایده کپلر به عنوان «ایده نبوغ‌آمیز ناب» یاد کرد. ایده‌های مشابه برای سایر سیارات نیز قابل کاربرد است. از آنجا که می‌توان یک واحد نجومی را از پله‌های قبلی نردبان محاسبه کرد، اکنون فاصله تا همه سیارات را داریم. از قرن نوزدهم هنگامی که مسافرت در سرتاسر زمین آسان‌تر شد، با روش اختلاف منظر (به عنوان مثال اندازه‌گیری زمان گذر ناهید از مقابل خورشید در مکان‌های مختلف روی زمین؛ روشی که اولین بار در سال ۱۷۷۱ از آن استفاده شد!) می‌توان این فواصل را به طور مستقیم و دقیق‌تری محاسبه و تمام پله‌های نردبان فاصله‌های کیهانی را تأیید و تقویت کرد.

پله پنجم: سرعت نور

از نظر فنی، سرعت نور، c ، فاصله نیست. با این حال دانستن مقدار این سرعت برای صعود به پله‌های بعدی مهم است. اوله رامر (۱۶۴۴-۱۷۱۰) و کریستین هویگنس (۱۶۹۵-۱۶۲۹) نخستین بار با استفاده از مدار قمر Io به دور مشتری، مقدار ۲۲۰۰۰۰ کیلومتر در ثانیه را



حرکت تقدیمی مدار عطارد



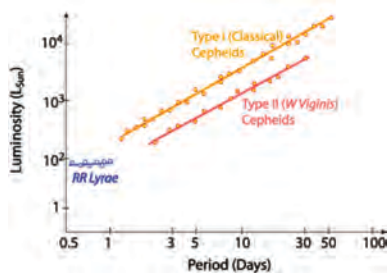
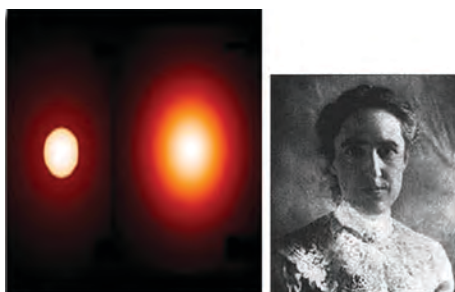
پلہ ششم: ستارگان نزدیک

قبلاً دیدیم که با استفاده از اختلاف منظر از دو نقطه روی زمین می‌توان فاصله تا ستاره‌ها را برحسب واحد نجومی محاسبه کرد. با اندازه‌گیری مکان یک ستاره در فاصله شش ماه از هم و مقایسه انحراف زاویه‌ای، فاصله تا آن ستاره برحسب واحد نجومی به دست می‌آید. ایده اختلاف منظر، که به تلسکوپی نسبتاً دقیق نیاز دارد، اولین بار توسط فردریش بسل (۱۸۴۶-۱۷۸۴) در سال ۱۸۳۸ با موفقیت به کار گرفته شد. این روش تا فاصله حدود ۱۰۰ سال نوری (۳۰ پارسک) دقیق است که برای یافتن چندین هزار ستاره نزدیک کافی است (۱ سال نوری حدود ۶۳۰۰۰ AU است). از قضا، یونانیان باستان برآورد آریستارخوس از یک واحد نجومی و مدل خورشیدمرکزی را که او پیشنهاد می‌کرد، رد کردند زیرا این امر با توجه به اختلاف منظر به این معنی بود که ستارگان فاصله بسیار زیادی با هم دارند (که البته دارند)!

پله ہفتم: کھکشان راہ شیری

با استفاده از طیف‌سنجی می‌توان «رنگ» یک ستاره نزدیک را اندازه‌گیری کرد، و تلسکوپ‌های جدید به راحتی می‌توانند روشنایی ظاهری ستارگان را محاسبه کنند. با ترکیب کردن فاصله تا ستاره‌های نزدیک از نردبان قبلی و قانون عکس مربع، می‌توان روشنایی مطلق ستاره‌های نزدیک را به دست آورد.

اجنار هرتسپرانگ (Ejnar Hertzsprung، ۱۸۷۳-۱۹۶۷) و هنری راسل (۱۸۷۷-۱۹۵۷) این روشنایی مطلق را برحسب رنگ در سال‌های ۱۹۰۵-۱۹۱۵ برای هزاران ستاره نزدیک رسم کردند که منجر به نمودار معروف هرتسپرانگ-راسل (HR) شد، که نشان‌دهنده رابطه این دو بود. اکنون می‌توان رنگ ستارگان دور را اندازه‌گیری کرد و روشنایی مطلق را به دست آورد. از آنجا که روشنایی ظاهری نیز قابل اندازه‌گیری است، می‌توان فاصله را اندازه‌گیری کرد. این روش تا ۳۰۰۰۰ سال نوری کارایی دارد! فراتر از آن، ستاره‌های نمودار HR کم‌نورتر از آن هستند که به طور دقیق فاصله آنها اندازه‌گیری شود.

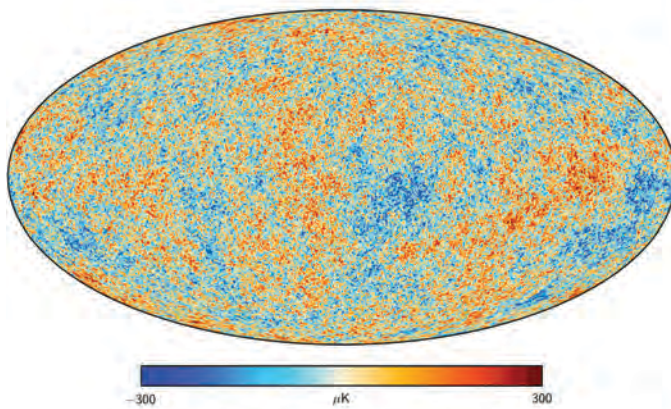


پله نهم: شکل کیهان

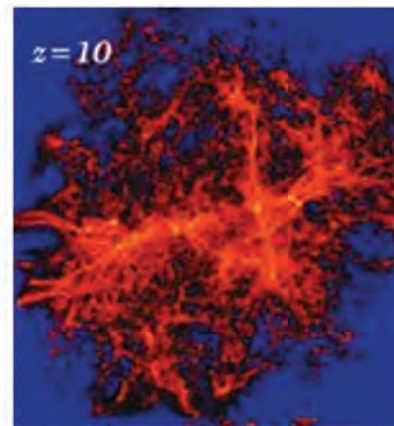


ادوین هابل

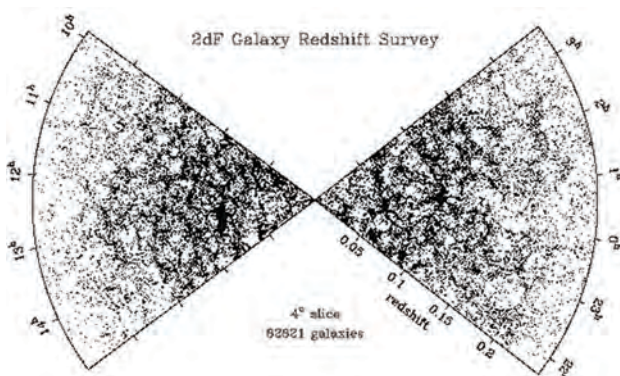
ادوین هابل (۱۸۸۹-۱۹۵۳) با ترکیب تمام داده‌های فوق و اندازه‌گیری دقیق‌تر انتقال به سرخ، همراه با سرعت شناخته‌شده نور (از پله پنجم) قانون معروف هابل را فرمولبندی کرد: انتقال به سرخ یک شیء متناسب با فاصله آن است. این قانون به نوبه خود به مدل معروف «مهبانگ» برای جهان در حال انبساط منجر شد که با بسیاری از مشاهدات کیهان‌شناختی دیگر تأیید شده است. می‌توان از این قانون برای اندازه‌گیری فاصله‌ها در بزرگترین مقیاس‌ها استفاده کرد.



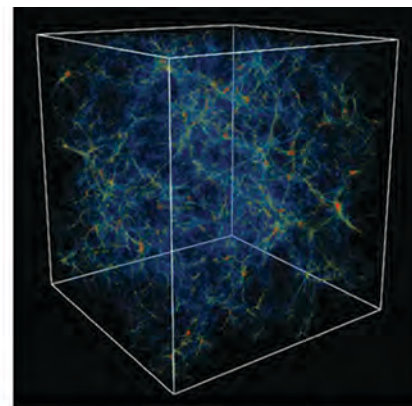
تصویر تابش زمینه کیهانی (تغییرات دمایی) از داده‌های ماهواره پلانک ۲۰۱۶



شبکه کیهانی



برش چهار درجه‌ای از آسمان



شبیه‌سازی شبکه کیهانی

زیرا تأثیرات نسبت عام بر داده‌هایی که در این مقیاس جهان داریم بسیار بیشتر است. فناوری پیشرفته (مانند تلسکوپ فضایی هابل و WMAP) نیز بسیار حیاتی بوده است. بالا رفتن از این پله از نردبان (یعنی نقشه‌برداری از جهان در مقیاس‌های بسیار بزرگ) امروزه همچنان یک موضوع بسیار مورد توجه در نجوم است.

• برگرفته از وبلاگ ترنس تائو (Terence Tao)

تلخیص و ترجمه: آرش دانش، پژوهشکده نجوم

این اندازه‌گیری‌ها منجر به ایجاد نقشه‌های دقیق از جهان در مقیاس‌های بسیار بزرگ شده و این نیز به کشف بسیاری از ساختارهای بسیار بزرگ مانند دیوار بزرگ اسلون (Sloan) انجامیده است که بدون چنین دانشی از نجوم امکان پذیر نبود. به عنوان مثال، بهترین تخمین ما (تا سال ۲۰۱۶) از قطر فعلی جهان قابل مشاهده حداقل ۹۳ میلیارد سال نوری است^۱ ریاضیات در این مرحله پیچیده‌تر می‌شود،

۱. در متن اصلی، ۷۸ میلیارد سال نوری آمده که مربوط به تخمین سال ۲۰۰۴ است.

دانشمندان برای اولین بار نشان دادند:

کلاغ‌ها دارای توانایی تفکر آگاهانه هستند*



دشوار است. آگاهی، توانایی شناخت خود و دنیای اطراف و دانستن آن است که چه می‌دانیم. این موضوع مهارت حل مسئله و تصمیم‌گیری را تقویت می‌کند و کلاغ‌ها در هر دو بسیار ممتازند.

در این دسته‌بندی، هوشیاری ابتدایی — آگاهی از درک جهان در حال حاضر (گذشته و آینده نزدیک) — ابتدایی‌ترین شکل آگاهی است. در ابتدا این آگاهی با قشر مغز، یک منطقه پیچیده و لایه‌لایه در مغز پستانداران، ارتباط داده می‌شد.

ولی ساختار مغز پرندگان و نخستی‌سانان دارای تفاوت‌های بسیاری است. مغز پستانداران لایه‌لایه است در حالی که مغز پرندگان بدون لایه و صاف است. بنابراین اگرچه خانواده کلاغیان (خانواده‌ای از پرندگان شامل کلاغ و زاغ) بسیار باهوش هستند و از توانایی‌های شناختی که در نخستی‌سانان وجود دارد برخوردارند، سؤالاتی در مورد اینکه آیا کلاغ‌ها می‌توانند از مرز اندیشه آگاهانه عبور کنند و وارد این محدوده شوند یا نه هنوز به قوت خود باقی است.

پژوهش‌های جدید روی ذهن کلاغ‌ها یافته‌ای شگفت‌انگیز را نشان می‌دهد: کلاغ‌ها نه تنها باهوش هستند بلکه از نوعی درک و آگاهی نیز برخوردارند و می‌توانند به طور آگاهانه از دنیای اطراف خود با خبر باشند. به عبارت دیگر، کلاغ‌ها از تجربیات ذهنی برخوردارند.

این نوع از آگاهی، آگاهی ابتدایی (primary) یا حسی (sensory) نامیده می‌شود و قبلاً تنها در نخستی‌سانان (Primates) دیده شده بود. این پدیده به این معناست که شاید وقت آن رسیده باشد که علاوه بر بازنگری مغز پرندگان، در درک خود از چگونگی پدید آمدن آگاهی تجدیدنظر کنیم.

به عقیده آندریاس نیدر (Andreas Neider) فیزیولوژیست حیوانات در دانشگاه توبینگن، «یافته‌های پژوهش ما روش نوینی برای بررسی روند تکامل آگاهی و محدودیت‌های عصب‌شناختی آن ارائه می‌دهد.»

البته ثبت و مشاهده آگاهی در حیوانات که رفتار کلامی ندارند

کبوتر و جغد را به تصویر کشیدند. بررسی آنها نشان داد که ساختار مغزی هر دو پرنده به طرز شگفت‌انگیزی شبیه ساختار مغزی پستانداران است.

این امکان وجود دارد که توانایی‌های شناختی مشابه در پرندگان و در پستانداران به طور مستقل تکامل یافته باشد، پدیده‌ای که به تکامل همگرا معروف است. البته این احتمال نیز وجود دارد که مغزهای ما بسیار مرتبط‌تر از آن باشد که تفاوت‌ها نشان می‌دهند.

تیم تحقیقاتی استاچو در این گزارش اشاره می‌کنند که «یافته‌های ما نشان می‌دهد که به احتمال زیاد یک ریزمدار باستانی که از قبل در آخرین ساقه مشترک وجود داشته، ممکن است تا امروز در پرندگان و پستانداران از نظر تکاملی حفظ و تا حدی اصلاح شده باشد.»

نیدر هم با این احتمال موافق است و اظهار می‌دارد «آخرین اجداد مشترک انسان و کلاغ ۳۲۰ میلیون سال پیش زندگی می‌کرده‌اند. این امکان وجود دارد که آگاهی از ادراک و هوشیاری در آن زمان به وجود آمده و از آن زمان به نسل‌های بعد منتقل شده باشد. در هر صورت، قابلیت تجربه آگاهانه را می‌توان در مغزهایی با ساختار متفاوت و مستقل از قشر مغز تحقق بخشید.»

این بدان معنی است که آگاهی ابتدایی در پرندگان و پستانداران بسیار بیشتر از آنچه که ما درک کرده‌ایم و می‌دانیم، اشتراک دارند.

و اگر این موضوع صحت داشته باشد، سؤال بعدی و حتی جالب‌تر این است که آیا این حیوانات آگاهی ثانویه یا فرعی نیز دارند؟ و آیا آنها از آگاهی خود آگاهند؟

اصل این پژوهش در منبع زیر

Andreas Nieder, Lysann Wagener, Paul Rinner, *A neural correlate of sensory consciousness in a corvid bird*, Science **369** 6511 (25 Sep. 2020), 1626-1629.

به چاپ رسیده است.

با تشکر از دکتر بهرام مشحون و دکتر مهدی صادقی

• Michelle Starr, *Crows are capable of conscious thought, scientists demonstrate for the first time*, ScienceAlert (28 Dec. 2020), <https://www.sciencealert.com/new-research-finds-crows-can-ponder-their-own-knowledge>.

برای درک بهتر این مسئله، نیدر و همکارانش آزمایشی برای سنجش توانایی پرندگان در کسب تجربه ذهنی طراحی کردند و آن را روی دو کلاغ مردارخوار (Corvus Corone) اجرا کردند. در ابتدا پرندگان آموزش دیدند تا به محرک‌های بینایی پاسخ دهند. به آنها صفحه‌ای نشان داده شد که روی آن چراغ‌ها نمایش داده می‌شد. با مشاهده چراغ روشن، کلاغ‌ها با حرکت سر نشان می‌دادند که متوجه روشن شدن چراغ شده‌اند. بیشتر چراغ‌ها واضح و به راحتی قابل مشاهده بودند و کلاغ‌ها با اطمینان نشان می‌دادند که متوجه آنها شده‌اند.

ولی تشخیص چراغ‌های کم نور بسیار دشوار بود. در این موارد، کلاغ‌ها برخی اوقات نشان می‌دادند که سیگنال‌ها را دیده‌اند و گاهی هم این کار را انجام نمی‌دادند. دقیقاً اینجا مرحله‌ای است که تجربه حسی ذهنی وارد کار می‌شود.

در این آزمایش، به هر یک از کلاغ‌ها تقریباً ۲۰۰۰ سیگنال در طی دهه‌ها جلسه نشان داده شد و به طور همزمان، الکترودهای کارگذاشته شده در مغز آنها فعالیت عصبی آنها را ثبت کرد.

هنگامی که کلاغ‌ها به محرک‌های بینایی پاسخ «بله» می‌دادند، فعالیت عصبی در فاصله بین دیدن نور و ارائه پاسخ آنها ثبت شد. وقتی پاسخ منفی بود، فعالیت عصبی قابل توجهی نیز مشاهده نمی‌شد. این ارتباط به قدری قابل اعتماد و واضح بود که امکان پیش بینی پاسخ کلاغ بر اساس فعالیت مغز وجود داشت.

به باور نیدر، «انتظار می‌رود سلول‌های عصبی که ورودی بینایی را بدون بخش‌های ذهنی نشان می‌دهند به همان روش به یک محرک بینایی با شدت ثابت پاسخ دهند. با این حال، نتایج آزمایش‌ها به طور قطع نشان می‌دهد که سلول‌های عصبی در سطح پردازش بالاتر مغز کلاغ‌ها تحت تأثیر تجربه ذهنی آنها قرار دارد و یا به عبارت دقیق‌تر، تجارب ذهنی را تولید می‌کند.»

این نتایج تأیید می‌کند که این گونه از تجربیات ذهنی منحصر به مغز نخستین‌ها نبوده و لایه‌بندی پیچیده مغز پستانداران پیش‌نیازی برای آگاهی نیست. در حقیقت، دومین مطالعه جدید در این باره نشان داد که صاف بودن مغز پرندگان به هیچ وجه نشان‌دهنده عدم پیچیدگی آنها نیست.

مارتین استاچو (Martin Stacho) زیست‌روانشناس در دانشگاه رور بوخوم (Ruhr-Universität Bochum) و همکارانش در دانشگاه بوخوم آلمان با استفاده از تصویربرداری نوری سه‌بعدی قطبی شده و تکنیک‌های ردیابی مدار عصبی، آناتومی مغز



ساختمان قابلیت محور دلایل معرفتی

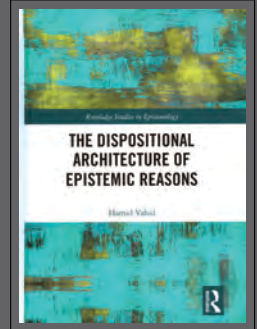
حمید وحید

پژوهشکده فلسفه تحلیلی

اخیراً کتاب

The Dispositional Architecture of Epistemic Reasons

تألیف دکتر حمید وحید، رئیس پژوهشکده فلسفه تحلیلی، توسط انتشارات Routledge در سری Routledge Studies in Epistemology منتشر شده است. در این کتاب، مؤلف نظریه‌ای براساس مباحث فرا اخلاقی درباره دلایل و هنجارمندی ارائه کرده و سپس این نظریه را در مورد موضوعات متعددی از معرفت‌شناسی معاصر به کار برده است. متن زیر، برگرفته از مقدمه این کتاب، علاوه بر معرفی خود کتاب حاوی اطلاعات کلی مفیدی درباره مباحث مطرح‌شده در آن است.



دلیل داشتن: چارچوبی قابلیت‌محور

در این نوشته با ذکر مثالی از اساسی کتاب را توضیح می‌دهم. در اینجا بر دو نکته تأکید خواهد شد. اول اینکه عقلانیت معرفتی (epistemic rationality) عبارت است از واکنش صحیح شخص به دلایلی که در اختیار دارد. دیگر اینکه شخص برای اینکه دلیلی در اختیار داشته باشد، نه تنها باید از آن دلیل آگاه باشد بلکه باید این ملاحظه مربوطه را دلیل تلقی کند در جایی که، از قرار معلوم، در اختیار داشتن دلیل ساختمانی مبتنی بر قابلیت (dispositional architecture) دارد. با این دو ایده، مبانی چارچوبی به دست می‌آید که از طریق آن می‌توان به نحوه ارتباط و تعامل مفاهیمی همچون دلایل در اختیار، توجیه گزاره‌ای (propositional justification)، توجیه باوری (doxastic justification) و رابطه ابتناء (basing relation) با یکدیگر پی برد. در ادامه بر پیامدهای چنین چارچوبی برای شماری از مسائل معرفت‌شناسی و اخلاق تأکید خواهد شد.

تر اصلی این کتاب عمدتاً به شرایطی مربوط است که مطابق با

آنها دلایل معرفتی توجیهی را برای باورها فراهم می‌کنند، اما این تر انگیزه‌اش را از ملاحظات می‌گیرد که در حال حاضر در کانون توجه نوشته‌های فرااخلاقی درباره دلایل و هنجارمندی (normativity) قرار دارند. وقتی درباره اتخاذ نگرشی یا انجام دادن عملی تأمل می‌کنیم، معمولاً انتخاب‌های ما در پرتو دلایلی که در اختیار داریم صورت می‌گیرند. چنین دلایلی قرار است به این اعمال و نگرش‌ها (از جمله عواطف) جهت دهند و تبیین و توجیه‌شان کنند. فیلسوفان برای تمایز نهادن میان نحوه‌های گوناگون تأثیر دلایل بر اعمال یا نگرش‌های ما انواع مختلف دلایل را از یکدیگر تفکیک می‌کنند: دلایل هنجاری، انگیزه‌بخش و تبیینی. دلایل هنجاری ملاحظات آن‌د که انجام دادن عمل خاص یا اتخاذ نگرش خاصی را توجیه و توصیه می‌کنند. بسیاری مواقع، این دلایل در مقابل دلایل انگیزه‌بخش (motivating reasons) قرار می‌گیرند: دلایلی که عامل در پرتو آنها یا به خاطر آنها دست به عملی می‌زند یا نگرش خاصی پیدا می‌کند و این دلایل، از این طریق، کار عامل را تبیین می‌کنند.

ادعا شده است که دلایل هنجاری از واقعیت‌ها یا اوضاع امور تشکیل می‌شوند. برای مثال، ممکن است بگوییم این واقعیت که هوای داخل اتاق سرد است دلیل خوبی برای بستن پنجره است. اما همین ملاحظه عیناً ممکن است عامل را به بستن پنجره برانگیزاند و هدایت کند. در این قبیل موارد (خوب)، کاشف به عمل می‌آید که دلایل هنجاری و انگیزه‌بخش با هم رابطه‌ی این همانی دارند و گفته می‌شود عامل براساس دلیل خوبی عمل کرده است. برخی از فیلسوفان به همین دلیل منکر تفاوت میان دلایل هنجاری و انگیزه‌بخش شده‌اند؛ یعنی تفاوت میان دلایلی که به لحاظ عینی خوب‌اند و دلایلی که موجب انگیزه‌ی عامل می‌شوند. به نظر آنها، ملاحظات واحدی می‌توانند هر دو نقش را ایفا کنند.

این موضوع که دلایل هنجاری چگونه بر عقلانی بودن اعمال و باورها تأثیر می‌گذارند، مخصوصاً در کنار این تز که عقلانیت ما را ملزم می‌کند به اینکه واکنش صحیحی به دلایل‌مان نشان دهیم، محل اختلاف میان فلاسفه است. براساس شاهدگرایی (evidentialism) درباره‌ی توجیه معرفتی یا عقلانیت، می‌گوییم باوری موجه است مادام که با شواهد شخص تناسب داشته باشد. اما چنین شواهدی زیرمجموعه‌ی دلایل شخص‌اند؛ یعنی دلایلی که او در اختیار دارد. اما در اختیار داشتن دلیل یعنی چه؟ اگر در مورد چند مثال و برخی ملاحظات نظری تأمل کنیم، معلوم می‌شود در اختیار داشتن دلیل فقط به برآوردن شرایطی معرفتی که شخص را به آگاهی از دلایلش ملزم می‌کنند مربوط نمی‌شود؛ چنین شرایطی او را به دلیل «تلقی کردن» این دلایل هم ملزم می‌کنند. برای روشن شدن این موضوع، کافی است مواردی را در نظر آوریم که در آنها عامل بی‌هیچ تقصیری از دلایل هنجاری عینی مربوط به اینکه باید یا نباید عملی را انجام دهد یا باوری را داشته باشد آگاه نیست. این مثال را در نظر بگیرید که عاملی به اسم اسمیت در حال نوشیدن آب از چشمه است، اما بی‌آنکه بداند، آن آب حاوی اشریشیا کُلی است. این موضوع دلیل خوبی است از برای آنکه اسمیت آن آب را ننوشد یا باور پیدا کند به اینکه آن آب سالم نیست، اما با این حال اگر آن را بنوشد، کار معقولی کرده است. این مثال نشان می‌دهد دلایل عینی‌ای که در واقع موجودند و دلایل عینی‌ای که ما موجودشان می‌دانیم ممکن است با هم فرق داشته باشند. از این گذشته، به نظر می‌رسد عقلانیت صرفاً مستلزم آن است که به دومین نوع از دلایل واکنش نشان دهیم - یعنی دلایل منطری (یا «ظاهری») که ممکن است با دلایل عینی مربوطه تطابق داشته باشند یا نداشته باشند. این نکته ظاهراً نشان می‌دهد دلایلی که اعمال یا نگرش‌ها را توجیه می‌کنند دلایلی‌اند که در اختیار عامل قرار دارند؛ یعنی دلایلی که در حیطه‌ی دانسته‌های او قرار دارند و از همین روست که می‌توان گفت این دلایل او را هدایت می‌کنند.

اما در اختیار داشتن دلیل به معنی چیست؟ به بیانی ملموس‌تر، هدف ما این است که ببینیم در اختیار داشتن دلایلی (r) برای داشتن یک باور یا انجام دادن یک عمل یعنی چه. چنان‌که هم‌اکنون ملاحظه کردیم، یکی از شرط‌های واضح و اولیه‌ی در اختیار داشتن r این است که از نظر شناختی در دسترس یا در اختیار شخص باشد. می‌توان این قید (معرفتی) را یا به صورت هنجاری فهمید، یعنی در کار بودن باوری موجه، یا به صورت غیرهنجاری، یعنی در کار بودن حالتی نمودی (presentational) مثل «به نظر رسیدن» و تجربه یا حالتی صرفاً باورمحورانه، مثل خود باور. اما عجالتاً می‌توانیم در مورد این موضوع که کدام یک از این حالات دسترسی شخص را به دلایش (r) نشان می‌دهند بی‌طرف بمانیم و صرفاً دسترسی شناختی شخص را به دلیل لازم بدانیم، آن هم به این معنای حداقلی که چنین به نظرش برسد که r برقرار است.

اما پرواضح است که صرفاً در دسترس بودن دلایل برای در اختیار داشتن آنها کافی نیست، چنان‌که با شکل تغییر یافته‌ی زیر از همان مثال آب روشن می‌شود. در این مثال، اسمیت می‌داند که این آب حاوی اشریشیا کُلی است، اما این باور معقول را هم دارد که اشریشیا کُلی بی‌ضرر است. باز هم با توجه به حالات ذهنی او، باورش را به اینکه نوشیدن این آب بی‌خطر است نمی‌توان نامعقول دانست. اگر هم به نوشیدن آب مبادرت بورزد، نباید او را مقصر قلمداد کرد. پس با اینکه او می‌داند که (r) <آب حاوی اشریشیا کُلی است>، همچنان r را به‌مثابه‌ی دلایلی برای باور به اینکه نوشیدن این آب خطرناک است در اختیار ندارد. r همچنان نمی‌تواند بر شأن عقلانی باور اسمیت درباره‌ی بی‌خطر بودن آب اثر بگذارد. برای اینکه کارهای اسمیت با چنین ملاحظات جبهه‌ی یابند یا هدایت شوند، او علاوه بر آگاهی از دلایل باید کار دیگری هم بکند. معمولاً این‌طور تصور می‌شود که آنچه در اینجا مفقود است این است که اسمیت r را دلایلی برای باور به اینکه نوشیدن این آب خطرناک است «تلقی نمی‌کند» یا «در نظر نمی‌گیرد». تنها در این صورت می‌توانیم بگوییم دلایل شخص هدایتگر اویند. او باید آنها را دلایلی (هنجاری) در نظر بگیرد یا «ببیند» که مایه‌ی رجان شیوه‌ی عمل خاصی می‌شوند. وقتی چنین اتفاقی می‌افتد، می‌گوییم عامل این ملاحظات را دلیل «تلقی می‌کند» یا، به بیان دیگر، در «وضعیت تلقی‌گری» نسبت به این ملاحظات و عمل مورد نظر قرار دارد. در این صورت چنین نتیجه می‌شود که برای در اختیار داشتن r به‌منزله‌ی دلایلی معرفتی برای p، r گذشته از اینکه باید در دسترس شخص قرار داشته باشد، شخص باید آن را دلایلی برای p هم تلقی کند. پس کاری که ابتدا باید انجام دهیم ارائه‌ی تبیینی از این است که این قید تلقی‌گری عبارت از چیست.

براساس یک پاسخ ساده، لازمه تلقی‌گری این است که عامل باور داشته باشد به اینکه r دلیل عمل ϕ است. اما این پاسخ با اتهام عقلانی‌سازی مفرط (over-intellectualization) روبه‌روست، زیرا بسیاری از عامل‌ها، از جمله کودکان خردسال و بزرگسالان فاقد بلوغ فکری، می‌توانند واکنش‌های معقولی به دلایل نشان دهند، با اینکه مفهوم دلیل را در اختیار ندارند. یک راه برای فائق آمدن بر این مشکل از قرار زیر است. دو شخص را در نظر بگیرید: $S1$ و $S2$ — و نه $S2$ — این معرفت یا اطلاعات را دارد که اشیریشیا کُلی در آب دلیلی برای ننوشیدن آب است. پس فقط $S1$ است که این اطلاعات را دارد که وجود اشیریشیا کُلی در آب تأثیری ایجابی بر خطرناک یا بی‌خطر بودن نوشیدن این آب می‌گذارد. روشن است که این اطلاعات به $S1$ برتری معرفتی بالقوه‌ای نسبت به $S2$ می‌دهد؛ یعنی قوه در اختیار داشتن r به‌مثابه دلیل یا شاهدهی برای ننوشیدن آب یا باور نداشتن به اینکه این آب بی‌خطر است در صورت آگاهی از آلودگی آن به اشیریشیا کُلی. این تفاوت بالقوه (و در عین حال، حقیقی) در صورتی (البته با پیامدها و عواقب جسمانی شدید) خودش را نشان می‌دهد که هم $S1$ و $S2$ متوجه شوند آبی که قرار است آن را بنوشند حاوی اشیریشیا کُلی است. از این دو، فقط $S1$ ، r را به‌مثابه دلیلی برای خودداری از نوشیدن آن آب یا باور کردن به بی‌خطری آن در اختیار دارد.

تفاوت معرفتی میان $S1$ و $S2$ را به این صورت هم می‌توان توصیف کرد که بگوییم $S1$ ، به واسطه تلقی r به‌مثابه دلیلی برای عمل ϕ ، واجد قابلیت می‌شود که $S2$ واجدش نیست؛ یعنی قابلیت در اختیار داشتن r به‌مثابه دلیلی برای عمل ϕ . این ویژگی قابلیت در صورتی، آن هم با پیامدهایی شدید، نمود می‌یابد که هم $S1$ و هم $S2$ از درستی r خبر داشته باشند. این خیلی شبیه این است که مثلاً بگوییم یک حبه قند ویژگی قابلیت حل‌پذیری در آب را به واسطه ساختار مولکولی‌اش دارد، در حالی که مثلاً یک تکه کاغذ به دلیل فقدان چنین ساختاری این ویژگی را ندارد. نکته مهم درباره این تصور از «تلقی‌گری» این است که می‌توانیم ملاحظه‌ای را H تلقی کنیم بی‌آنکه مفهوم H را داشته باشیم یا آن را به صورت H بازنمایی کنیم. البته، اگر عامل از پیچیدگی فکری کافی برخوردار باشد، در جایگاهی قرار خواهد داشت که متوجه شود r به چه ترتیبی بر عمل ϕ تأثیر ایجابی می‌گذارد.

البته می‌توانیم با فاصله گرفتن از این ملاحظات، صرفاً بگوییم که عامل، با برآوردن قید تلقی‌گری، در «وضعیت تلقی‌گری» قرار خواهد داشت. اما برخلاف سایر دیدگاه‌ها درباره قید تلقی‌گری، تبیینی که در اینجا ارائه می‌شود برآورده شدن این قید را در نسبت با دلیل r و عمل ϕ در نظر می‌گیرد تا در اختیار داشتن r توسط عامل به‌منزله دلیلی برای عمل ϕ به حالتی دلالت کند که عامل از در دسترس داشتن r بدان

منتقل می‌شود. آنچه در تبیین ما اساسی است این است که این انتقال ساختاری قابلیت‌محورانه دارد. قرار داشتن در حالتی تلقی‌گرانه نسبت به r و یک عمل (عمل ϕ) را نباید با یک قابلیت این‌همان دانست، بلکه مبنای قابلیت در درون شخص است؛ یعنی قابلیت در اختیار داشتن r به‌مثابه دلیلی برای عمل ϕ در واکنش به r (دسترس‌پذیر)، درست همان‌طور که ساختار مولکولی شیشه مبنای قابلیت شکستن آن در واکنش به ضربه است. به تعبیر صورتی‌تر، وضعیت تلقی r به‌مثابه دلیلی برای ϕ مبنای مطلق (categorical) قابلیت عامل برای در اختیار داشتن r به‌مثابه دلیلی برای عمل ϕ در واکنش به r (دسترس‌پذیر) است.

از آنجا که معمولاً قابلیت‌ها را در قالب پروژات رایج‌شان در واکنش به شرایط آزمایشی یا تحریکی مناسب می‌فهمیم، می‌توانیم در اختیار داشتن دلیل را توسط عامل بروز و ظهور قابلیت عامل (مبتنی بر قرار داشتن او در وضعیت تلقی‌گری) در واکنش به دلیل هنجاری (در دسترس) r بدانیم. وانگهی، وقتی عامل براساس همین دلیل (در اختیار) عمل می‌کند، این دلیل تبیینی از عمل او به دست می‌دهد و، اگر دلیل خوبی باشد، عمل او را توجیه نیز خواهد کرد. مثل همه قابلیت‌ها، ممکن است کسی قابلیت در اختیار داشتن r را به‌مثابه دلیلی برای عمل ϕ داشته باشد، بی‌آنکه هیچ وقت آن را بروز دهد. اما وقتی r در دسترس عامل قرار می‌گیرد و در نقش محرک عمل می‌کند، آنگاه به بروز آن قابلیت منجر خواهد شد مگر اینکه عوامل اخلاک‌گرمربوط در کار باشند.

خلاصه اینکه فقط دلایل در اختیار می‌توانند باورها یا اعمال را توجیه کنند. اما شخص برای اینکه دلیلی (r) را برای عمل ϕ در اختیار داشته باشد، گذشته از اینکه باید از r آگاه باشد، باید r را دلیل عمل ϕ هم تلقی کند. چنان‌که دیدیم، در اختیار داشتن دلیل ساختاری قابلیت دارد که در آن، آگاهی شخص از r به‌منزله محرک آن ایفای نقش می‌کند و در اختیار داشتن r به‌مثابه دلیل عبارت از بروز قابلیت است که بر قرار داشتن شخص در وضعیت تلقی‌گرانه مربوط مبتنی است. پس با تمرکز بر دلایل باور، می‌توانیم بگوییم شخص r را به‌مثابه دلیلی برای باور داشتن به اینکه p به واسطه قرار داشتن در وضعیت تلقی‌گرانه خاصی هنگام دسترسی‌اش به r در اختیار دارد. پس طبق دیدگاه ما، در اختیار داشتن دلیل به صورت بروز قابلیت معرفتی فهمیده می‌شود؛ قابلیت مبتنی بر وضعیت تلقی‌گری هنگامی که دلیل مورد نظر در دسترس شخص قرار می‌گیرد.

چنان‌که کاشف به عمل می‌آید، این دیدگاه به حل و فصل چند موضوع مهم در معرفت‌شناسی و فرااخلاق کمک می‌کند. در وهله اول، این دیدگاه چارچوبی یکپارچه به‌دست می‌دهد که در آن، می‌توان دید

مفاهیمی همچون در اختیار داشتن دلیل، توجیه گزاره‌ای، توجیه باوری و رابطه ابتناء چه نوع ارتباط و تعاملی با یکدیگر دارند. این دیدگاه بر چند تحلیل نسبتاً مقبول و غیرخلق‌الساعه (ad hoc) از توجیه گزاره‌ای و باوری و رابطه ابتناء نیز مشتمل است. علاوه بر این، تبیینی بنیادی از ساختار نقض معرفتی (epistemic defeat) به دست می‌دهد و نشان می‌دهد این ساختار چگونه می‌تواند به نحوی طبیعی پدیده نقض مرتبه بالاتر را هم دربربگیرد. به علاوه، وقتی این چارچوب بر دلایل ادراکی (تجربه ادراکی) منطبق می‌شود، نتیجه بسیار چشمگیری دارد. آن‌طور که معلوم می‌شود، این چارچوب می‌تواند مبنایی برای قضاوت میان نظریه‌های درون‌گرایانه و درون‌گرایانه درباره توجیه ادراکی به دست دهد؛ می‌تواند مؤیدی اصولی برای شهودهای درون‌گرایانه درباره توجیه معرفتی باشد، شهودهایی که در مثال‌های مربوط به جهان اهریمنی و سناریوهای غیب‌گو برجسته شده‌اند. همچنین این چارچوب می‌تواند نشان دهد چرا پدیده نفوذ شناختی (cogni-tive penetration) هیچ تهدیدی متوجه تبیین‌های درون‌گرایانه‌ای مثل جزم‌گرایی (dogmatism) نمی‌کند. نکته آخر هم اینکه این چارچوب، در مورد تبیین‌های درون‌گرایانه، مبنایی برای داوری میان جزم‌گرایی و محافظه‌کاری (conservatism) به دست می‌دهد؛ می‌تواند توجیهی اصولی برای نقش معرفتی آنچه جزم‌گرایان نیروی «نمودی» یا «پدیداری» تجربه ادراکی می‌نامند ارائه کند. همچنین می‌تواند این ادعای جزم‌گرایانه را تأیید کند که ادراک می‌تواند توجیه بی‌واسطه‌ای برای باورهایی که خود ایجادشان می‌کند به دست دهد.

دلیل‌آوری نظری (theoretical reasoning) حیطه دیگری است که در آن، تبیین ما می‌تواند به روشن شدن بعضی از دغدغه‌های مطرح‌شده کمک کند، مخصوصاً مسئله تبیین وجه تمایز میان دلیل‌آوری نظری و فرایندهای علی محض. مسئله دیگری که تبیین ما می‌تواند به روشن شدنش کمک کند به این پرسش مربوط است که آیا عواطف می‌توانند معرفتی ارزیابانه درباره جهان به ما بدهند. اگر تجربه عاطفی را شبیه تجربه ادراکی بدانیم، پاسخ مثبت به این پرسش بسیار پذیرفتنی خواهد بود. موضوع دیگری که ممکن است با دیدگاه قابلیت‌محور ما تأیید شود درون‌گرایی انگیزه‌ای (motivational internalism) است. با کاربست این چارچوب می‌توانیم توضیح دهیم قضاوت‌ها و باورهای اخلاقی ما چگونه می‌توانند از درون انگیزه‌بخش باشند و، در عین حال، موارد عادی‌ای را که گفته می‌شود باعث تضعیف این دیدگاه می‌شوند تبیین کنیم. نکته آخر اینکه این دیدگاه می‌تواند اهمیت معرفتی معیار موسوم به «رویه اوانز» (Evans's procedure) را که بعضی از تبیین‌های معرفت به خویش بدان متوسل شده‌اند توضیح دهد.

این کتاب به صورت زیر پیش می‌رود. بخش اول کتاب به شرح آنچه «ساختار قابلیت‌محور دلایل معرفتی» می‌نام می‌پردازد. فصل ۱ دیدگاهی را درباره چپستی در اختیار داشتن دلیل، مخصوصاً دلایلی از نوع معرفتی، بیان می‌کند. پس از بیان کلیاتی درباره تصویر بنیادینی از دلایل و هنجارمندی که در این کتاب پیش‌فرض گرفته می‌شود، مواردی را بررسی خواهیم کرد که در آنها عامل بی هیچ تقصیری از دلایل هنجاری عینی مربوط به اینکه آیا باید یا نباید باوری را داشته باشد یا عملی را انجام دهد خبر ندارد. این موارد به تمایز میان دلایل عینی‌ای که در واقع وجود دارند و دلایلی که ما موجودشان می‌دانیم اشاره می‌کنند. این موضوع ظاهراً نشان می‌دهد دلایلی که اعمال یا گرایش‌ها را توجیه می‌کنند دلایلی‌اند که عامل در اختیارشان دارد؛ یعنی دلایلی که در حیطه آگاهی او قرار دارند. من در اینجا به قیودی خواهم پرداخت که باید برآورده شوند تا این قبیل دلایل بتوانند این نقش را ایفا کنند. در ابتدای کار، انگیزه یک شرط خاص، یعنی «قید تلقی‌گری»، را بیان می‌کنم که برای در اختیار داشتن دلایل لازم دانسته شده است. بعضی از تبیین‌های موجود از قید تلقی‌گری برای در اختیار داشتن دلیل را توضیح می‌دهم و نقد می‌کنم. تبیینی قابلیت‌محور از در اختیار داشتن دلیل ارائه می‌دهم که قید تلقی‌گری از اجزای برجسته آن است و در ادامه بعضی از موضوعات قابل توجهی را که در مورد این دیدگاه پیشنهادی مطرح می‌شوند روشن می‌کنم. شرط‌هایی که در این فصل کتاب بیان می‌شوند ارکان این تر را تشکیل می‌دهند که دلایل معرفتی ساختمانی قابلیت‌محور دارند.

از آنجا که دلایل در اختیار شخص توجیهی گزاره‌ای برای باورهای او فراهم می‌کنند، به تبیینی از نحوه ارتباط توجیه گزاره‌ای و توجیه باوری با یکدیگر نیاز داریم. فصل ۲ چنین تبیینی را به دست می‌دهد. طبق دیدگاه رایج، ابتدای باور شخص به p بر مبنایی که توجیهی گزاره‌ای برای باور به p فراهم می‌کنند برای توجیه باوری آن باور کافی است، هرچند بعضی از معرفت‌شناسان تمایل دارند جهت تبیین را برعکس کنند. پیشنهاد من در این فصل این است که این مباحثه را از زاویه جدیدی ملاحظه کنیم و بگویم بهترین راه برای فهمیدن رابطه میان این دو نوع توجیه این است که توجیه گزاره‌ای را یک نوع ویژگی قابلیت (معرفتی) بدانیم که شخص می‌تواند واجدش باشد و توجیه باوری هم بروز آن است. نشان می‌دهم بحث متافیزیکی درباره این مسئله که قضایای مشتمل بر قابلیت را چگونه باید تحلیل کرد با همین بحث معرفت‌شناختی تناظر دارد و من بعضی از نتایج بحث قابلیت‌ها را در مورد این پرسش معرفت‌شناسانه به کار خواهم گرفت. این فصل را با ارائه نکاتی مقدماتی در خصوص ترتیب اولویت میان این دو نوع توجیه خاتمه می‌دهم.

فصل ۳ به مسئله رابطه ابتناء می‌پردازد. در حال حاضر دو رویکرد مهم به این مسئله مطرح است: نظریه‌های علی و باورمحورانه. قریب به اتفاق معرفت‌شناسان معتقدند وقتی مفهوم رابطه ابتناء را بیان می‌کنیم، علیت باید در آن نقش داشته باشد. اما تبیین علی با مشکلی جدی روبه‌روست: زنجیره‌های علی منحرف (deviant causal chains). من در این فصل نشان می‌دهم از آنجا که برقرار بودن رابطه ابتناء وجه تمایز میان توجیه گزاره‌ای و توجیه باوری است، اگر بتوانیم تصور واضحی از نحوه ارتباط این دو نوع توجیه با یکدیگر داشته باشیم، به درک بهتری از مفهوم رابطه ابتناء خواهیم رسید. چنین استدلال خواهد شد که دیدگاهی که در فصل ۲ از آن دفاع کرده‌ایم امکانات لازم برای حل و فصل مسئله انحراف علی را دارد و، در نتیجه، تبیینی پذیرفتنی از مفهوم رابطه ابتناء به دست می‌دهد. سپس این تبیین تعمیم می‌یابد تا شامل مواردی بشود که در آنها باور بر مبانی ناکافی مبتنی است.

بخش ۲ پیامدهای انطباق چارچوب بخش ۱ را بر دلایل ادراکی واکاوی می‌کند. من در این بخش مشخصاً به ارزش معرفتی تجربه ادراکی خواهم پرداخت. هدف بخش ۲ ارائه راه‌حلی برای مسئله توجیه غیرباوری است که با این پرسش سروکار دارد که انتقال علی میان تجربه و باور چگونه می‌تواند جنبه‌ای هنجاری پیدا کند؛ یعنی تجربه ادراکی چگونه به توجیه باورهایی درباره جهان کمک می‌کند. فصل ۴ پیش‌زمینه این بحث را با بررسی تبیین‌های برون‌گرایانه و درون‌گرایانه درباره توجیه ادراکی فراهم می‌آورد. سرآغاز این فصل تبیین برون‌گرایانه تایلر برج از توجیه ادراکی است که موضوعات مختلفی را مطرح می‌کند، از جمله نوع تازه‌ای از شأن یا جواز (warrant) معرفتی ایجابی به اسم «استحقاق» (entitlement). استدلال خواهم کرد که تلقی برج از استحقاق هیچ کمکی به حل مسئله توجیه غیرباوری نمی‌کند. به علاوه، در این فصل دو نظریه درون‌گرایانه رقیب معرفی می‌شوند: جزم‌گرایی (یا لیبرالیسم) و محافظه‌کاری. از آنجا که انواع گوناگونی از لیبرالیسم یا محافظه‌کاری داریم، چارچوبی را مطرح می‌کنم که تفاوت‌های مورد نظر را مفهوم کند و استدلال می‌کنم، به جای تمرکز بر نوع خاصی از محافظه‌کاری، باید انواع مختلف محافظه‌کاری (لیبرالیسم) را به رسمیت بشناسیم. نتیجه‌ای که می‌گیرم این است که هیچ نظریه‌ای درباره توجیه لزوماً محافظه‌کارانه/لیبرال محض نیست. اینکه نظریه‌ای درباره توجیه جزم‌گرایانه/محافظه‌کارانه باشد وابسته به این است که کدام جنبه ارزیابی را برجسته بدانیم. در ادامه فصل بعضی از لوازم این یافته بررسی می‌شوند.

فصل ۵ به بررسی انتقادی تقریر کریسپین رایت از محافظه‌کاری معرفتی می‌پردازد. مشخصاً به تلقی او از استحقاق توجه خواهم کرد. رایت چند استدلال را مطرح کرده تا نشان دهد ما، علاوه بر جواز مبتنی

بر شواهد، نوعی جواز نامبتنی بر شواهد هم داریم، یعنی «استحقاق» که مبنای دیدگاه خاصی را درباره ساختمان توجیه ادراکی تشکیل می‌دهد. اما نشان خواهم داد که آن نوع جوازی که از دل تبیین رایت بیرون می‌آید توجیه صدق‌رسان (truth-conducive) متعارف نیست، بلکه همان چیزی است که تلقی وظیفه‌گرایانه (deontological) از توجیه نام گرفته است. توجیه وظیفه‌گرایانه خصوصیتی دارد که باعث می‌شوند گزینه بهتری برای به تصویر کشیدن ساختمان محافظه‌کارانه باشد. می‌توان نشان داد چارچوب وظیفه‌گرایانه می‌تواند تصور بهتری از نظریه‌ای تازه درباره باور (معقول) موجه ارائه دهد که الهام گرفته از دیدگاه محافظه‌کارانه رایت است و، به این ترتیب، نتایج فوق تقویت می‌شوند. با چنین برداشتی، می‌توانیم مناقشه میان جزم‌گرایی و محافظه‌کاری را در واقع در امتداد بحثی قدیمی‌تر ببینیم: اینکه کدام تلقی از توجیه، تلقی صدق‌رسان یا وظیفه‌گرایانه، می‌تواند به بهترین وجه شأن معرفتی فعالیت‌های باورساز ما را بازنمایی کند.

پس از نقد محافظه‌کاری در فصل ۵، فصل ۶ به دفاع از جزم‌گرایی اختصاص می‌یابد و این کار از طریق بررسی بعضی از جنبه‌های قابل توجه آن در پرتو دیدگاه ساختمان قابلیت درباره دلایل معرفتی، که در بخش اول کتاب شرح و بسط یافته است، انجام می‌شود. این نکته را روشن می‌کنم که بعضی از جنبه‌های معروف جزم‌گرایی، مثل ادعای آن درباره «بی‌واسطگی» توجیه ادراکی، طبیعتاً از ساختار قابلیت دلایل ادراکی خارج می‌شوند. بسیاری مواقع، جزم‌گرایان با استفاده از مثال از موضع‌شان دفاع می‌کنند، اما من نشان می‌دهم چارچوب قابلیت‌محور، دفاعی اصولی از تروهای اصلی جزم‌گرایان به دست می‌دهد. یکی از این ادعاها این است که تجربه به واسطه خلصت پدیداری‌اش توجیه را فراهم می‌کند که خود بر محتوای بازنمودی تجربه مبتنی است. از این گذشته، جزم‌گرایی می‌گوید تجربه ادراکی باور به محتوای خودش را به واسطه نمایاندن این محتوا با «نیروی نمودی» (presentational force) توجیه می‌کند. من نشان می‌دهم این جنبه‌های تجربه ادراکی را می‌توان به نحو کافی وافی در چارچوب قابلیت‌محور تبیین کرد. سپس با توجه به پایبندی جزم‌گرایی به درون‌گرایی درباره توجیه، چند تلاش تازه را در رد این نوع از درون‌گرایی از طریق تمایز نهادن میان عقلانیت و توجیه و محدود کردن شهودهای درون‌گرایانه به حیطه عقلانیت بررسی می‌کنم. نشان می‌دهم تبیین قابلیت‌محور ما از ساختار دلایل ادراکی می‌تواند چنین تلاش‌هایی را بی‌اثر کند. در پایان، به اشکالی مهم که براساس پدیده نفوذشناختی در مورد جزم‌گرایی مطرح می‌شود پاسخ می‌دهم.

بخش ۳ به بررسی سایر کاربست‌های چارچوب قابلیت‌محور می‌پردازد. در این فصل درباره موضوعاتی از جمله ساختار نقض، معرفت به خویش، دلیل‌آوری، عواطف و درون‌گرایی انگیزه‌ای، بحث می‌شود. در فصل ۷، به مسئله انواع ناقض‌ها (defeaters) و

سازوکار نقض‌کنندگی آنها می‌پردازم. بحث درباره نقض معرفتی را در چند جهت می‌توان پیش برد. یکی از مجموعه موضوعات ناظر به انواع اموری است که گفته می‌شود قدرت نقض‌کنندگی دارند، به علاوه چیزهایی که این امور نقض‌شان می‌کنند. برای مثال، معمولاً در اینجا میان ناقض‌های گزاره‌ای و ناقض‌هایی از سنخ حالت ذهنی تفکیک می‌شود. دومین مجموعه موضوعات درباره انواع ناقض‌ها و سازوکاری است که از طریقش نقش تضعیف‌کنندگی‌شان را ایفا می‌کنند. البته ریزه‌کاری‌های زیادی در مورد هر دو مجموعه از مسائل وجود دارند. چیزی که در این فصل مشخصاً در پی فهمیدنش هستم این است که آیا پدیده نقض مرتبه بالاتر را می‌توان در دل تبیینی کلی از نقض معرفتی جای داد یا نه. در این فصل استدلال می‌کنم بهترین شیوه پرداختن به این موضوعات این است که آنها را در چارچوب قابلیت‌محور دلایل معرفتی و در اختیار داشتن دلیل بررسی کنیم.

در فصل ۸ به ماهیت دلیل‌آوری نظری یا استنتاج می‌پردازم؛ یعنی فرایند بازنگری باورهای خویش به خاطر یک دلیل. اما استنتاج چیزی بیش از صرف علیت است. مسئله موسوم به «استنتاج» عبارت از این پرسش است که دقیقاً وجه تمایز میان دلیل‌آوری نظری و فرایندهای علی محض چیست؛ یعنی این مسئله که یک فرایند استنتاج عبارت از چیست. پال بوگوسیان وجه تمایز استنتاج را، به تعبیر خودش، در الزام به «شرط در نظر گرفتن» (taking condition) می‌داند. به نظر او، هر تبیین بایسته و شایسته‌ای از استنتاج باید زمینه ملحوظ داشتن و تبیین «شرط در نظر گرفتن» را داشته باشد. در این فصل ابتدا علیه تبیین جان بروم از دلیل‌آوری براساس تبعیت از قاعده استدلال می‌کنم و، سپس با اتکا به تبیین قابلیت‌محور از ساختار دلایل معرفتی، برای شیوه‌ای از تبیین «شرط در نظر گرفتن» استدلال می‌کنم که از اشکالات وارده مصون است.

در فصل ۹ به ارزش معرفتی عواطف می‌پردازم. عواطف، همانند ادراکات، معمولاً حالات ذهنی انفعالی‌ای قلمداد می‌شوند که هم جنبه پدیداری دارند و هم جنبه التفاتی. امروزه عموماً باور بر این است که عواطف نقش معرفتی مهمی در حیات شناختی ما بازی می‌کنند. فلاسفه، برای اینکه ارزش معرفتی عواطف را بیان کنند، گاهی تجربه عاطفی را به تجربه ادراکی تشبیه می‌کنند و مدعی می‌شوند عواطف می‌توانند معرفتی ارزیابانه درباره جهان به ما بدهند. اما اشکالاتی جدی به این ادعا وارد شده و بعضی از نظریه‌پردازان را به این دیدگاه سوق داده است که عواطف، برخلاف ادراکات، نمی‌توانند دلیل باشند. من در این فصل استدلال می‌کنم منشأ بسیاری از این اشکالات این است که بعضی از خصوصیات دلایل توجه نشده است، مخصوصاً تمایز میان دلایلی که هستند و دلایلی که شخص در اختیارشان دارد. من پس از نقد بعضی از تلاش‌ها برای نشان دادن اینکه عواطف می‌توانند دلیل باشند، نشان می‌دهم پذیرش تبیین قابلیت‌محور از در اختیار داشتن دلیل به

چه ترتیبی می‌تواند به دفع اشکالات وارده علیه ارزش شاهدمحورانه عواطف کمک کند.

در فصل ۱۰، دفاع متفاوتی از درون‌گرایی انگیزه‌ای یا حکمی ارائه می‌کنم. برخلاف نظریه هیومی درباره انگیزه، در نظر بسیاری از افراد وقتی پای انگیزه اخلاقی به میان می‌آید، افکار مربوط به اخلاق تأثیری مستقیم بر انگیزه‌های ما می‌گذارند. این ملاحظات به شکافی درون‌گرایانه/برون‌گرایانه میان فلاسفه در خصوص ماهیت پیوند میان انگیزه و حکم اخلاقی انجامیده‌اند. این دیدگاه که به درون‌گرایی «انگیزه‌ای» یا «حکمی» معروف است می‌گوید احکام یا باورهای اخلاقی ذاتاً انگیزه‌بخش‌اند. اما برون‌گرایان خاطرنشان می‌کنند که درون‌گرایی انگیزه‌ای مثال نقض‌های واضحی دارد، یعنی مواردی که در آنها انگیزه بی‌نتیجه می‌ماند، مثلاً در عامل‌های دچار افسردگی، ضعف اراده، سردرگمی و غیره. درون‌گرایان، در پاسخ به این اشکال، سعی کرده‌اند ادعای خود را تعدیل کنند، خواه با محدود کردن این تز به عامل‌هایی که دچار نقیصه‌های روانی نیستند و خواه اساساً با انکار امکان چنین مواردی. من در این فصل از تقریر نامحدود درون‌گرایی انگیزه‌ای در مقابل اشکالات فوق دفاع می‌کنم. چنین استدلال خواهم کرد که تقریرهای رایج درون‌گرایی انگیزه‌ای به این دلیل دچار چنین اشکالاتی می‌شوند که پیوند میان انگیزه و احکام اخلاقی را دارای ساختاری خطی می‌دانند. در مقابل، نشان می‌دهم بهترین تلقی از این پیوند همان است که از دل ساختار قابلیت‌محور دلایل انگیزه‌ای (در اختیار) به دست می‌آید و، با چنین تلقی‌ای، به راحتی می‌توان مثال نقض‌های برون‌گرایانه را به این صورت در نظر گرفت که طبیعتاً از نحوه‌های رفتار معمول قابلیت‌ها عدول می‌کنند.

در فصل ۱۱ راهبردی متفاوت برای تبیین آنچه به «رویه اوانز» معروف شده است ارائه می‌کنم؛ این رویه پاسخی است به این پرسش که چگونه به افکار خودمان معرفت می‌یابیم. همه نظریه‌های مربوط به معرفت به خویشتن به دنبال تبیین یا رفع غرابت از خصوصیات همچون امتیاز معرفتی و مرجعیت اول‌شخص‌اند که معمولاً به چنین معرفتی نسبت داده می‌شود. من در این فصل بر ادعای خاصی، یعنی «تزشفافیت» که در بعضی از تبیین‌های معرفت به خویشتن بدان استناد شده است، متمرکز می‌شوم. چنین ادعا شده است که رویه حاصل از این تز محور خوداِسناددهندگی‌های (self-attribution) ماست. اما در بسیاری از موارد، نظریه‌هایی که به چنین رویه‌ای استناد می‌کنند به نداشتن هیچ توجیهی برای اعتبار معرفتی‌شان متهم می‌شوند. در این فصل، با اتکا به فصول گذشته، تفسیر تازه‌ای از رویه شفافیت به دست می‌دهم که اعتبار معرفتی‌اش را هم در آستین دارد. استدلال خواهم کرد که چارچوب قابلیت‌محور می‌تواند مفهومی معرفتی به رویه شفافیت بدهد. ■



چیدمان نام مؤلفان در مقالات پژوهشی

فاطمه طباطبایی
پژوهشکده نجوم

با توجه به اینکه قانون یکنواختی درباره ترتیب نام نویسندگان وجود ندارد، ممکن است ارزیابی سهم نویسندگان در یک پروژه تحقیقاتی برای خوانندگان مقاله دشوار باشد. به این دلیل، برخی از مجلات، همچون مجلات پزشکی و نیز مجله نیچر در علوم تجربی بر مشخص کردن میزان مشارکت و سهم هر نویسنده در انجام پروژه و نوشتن مقاله اصرار دارند.

روش‌های متداول در فهرست کردن نام نویسندگان

در زیر برخی از روش‌های معمول برای ایجاد فهرست نویسندگان ذکر شده است:

مشارکت نسبی. همان‌طور که در بالا ذکر شد، متداول‌ترین روش مبتنی بر سهم نسبی است. نویسنده‌ای که بیشترین کار را در تحقیقات اساسی و پیش‌نویس مقاله انجام داده است، نویسنده اول می‌شود. بقیه به ترتیب نزولی سهم در نظر گرفته می‌شوند. با این حال، در بسیاری از رشته‌ها، مانند علوم زیستی، آخرین نویسنده محقق اصلی است — شخصی که بر کار نظارت می‌کند.

در بعضی از دانشگاه‌های ایران، در مقاله‌های مربوط به رساله دانشجوی، نخست نام استاد و سپس نام دانشجو می‌آید، که البته این روش مطابق با استانداردهای بین‌المللی نیست.

فهرست الفبایی. در بعضی از رشته‌ها مانند ریاضیات معمولاً اسامی نویسندگان را به ترتیب الفبایی می‌آورند. در رشته‌های دیگری

با افزایش روزافزون همکاری‌ها در پروژه‌های علمی بزرگ بین‌المللی به ندرت اتفاق می‌افتد که مقاله‌ای فقط توسط یک یا دو نفر تألیف شود. امروز هر مقاله پژوهشی، به طور متوسط، ۵ نویسنده دارد. تعداد روبه‌رشد پروژه‌های تحقیقاتی مشترک، سؤالات مهمی را درباره ترتیب نام نویسندگان و درک معنای آن برای خوانندگان پیش آورده است.

گرچه قراردادهایی درباره تألیف علمی و در برخی مواقع نیز رهنمودهای خاصی برای ارسال مقاله به مجله وجود دارد، اما هیچ پروتکل جهانی مشخصی برای ترتیب نام نویسندگان وجود ندارد. برخی از مجلات نویسندگان را به ترتیب حروف الفبا فهرست می‌کنند، اما به طور معمول یک سیستم رتبه‌بندی در ترتیب نویسندگان وجود دارد که براساس میزان کار هر نویسنده تنظیم می‌شود.

«نویسنده اول» بودن در فهرست، اهمیت ویژه‌ای در نزد نویسندگان دارد زیرا نام این نویسنده اولین نامی است که خوانندگان می‌بینند، و به خاطر بعضی قواعد ارجاع‌دهی درون‌متنی و کتاب‌شناختی ممکن است نام نویسندگان دیگر نیاید و در et al (و دیگران) خلاصه شود و خوانندگان، به غلط، نویسنده اول را مهم‌تر از بقیه بپندارند.

جایگاه «نویسنده آخر» در بعضی فهرست‌ها به ناظر یا محقق ارشد پروژه اختصاص می‌یابد. صاحب چنین جایگاهی بیشترین امتیاز را می‌گیرد اگر تحقیق به خوبی انجام شده باشد و مورد انتقاد قرار می‌گیرد اگر تحقیق به درستی انجام نشده باشد. همچنین ممکن است نام نویسنده‌ای که مسئولیت اصلی را در ارتباط با ویراستاران مجله دارد (corresponding author) در این جایگاه قرار گیرد.

هم در مورد پروژه‌های گروه‌های بزرگ، مثلاً تیم‌های فیزیک ذرات انرژی بالا، نویسندگان را به ترتیب حروف الفبا فهرست می‌کنند.

چند نویسندهٔ «اول». نویسندگان اضافی «اول» را می‌توان با ستاره یا نماد دیگر همراه با یک یادداشت توضیحی ذکر کرد. این رویه در مطالعات میان‌رشته‌ای، معمول است.

چند نویسنده «آخر». چند نویسنده آخر را می‌توان از طریق نمادهای تایپی و پاورقی‌ها شناخت. این رویه وقتی به وجود آمد که برخی از مجلات از اعضای ارشد آزمایشگاه خواستند تا در راستای افزایش مسئولیت‌شان تمام داده‌ها و تفسیرهای تولیدشده در آزمایشگاه‌های خود را بررسی کنند.

ترتیب مذاکره‌ای. گرچه روش‌های نسبتاً واضحی برای تعیین اولین و آخرین نویسندگان وجود دارد، اما هیچ توافق اساسی برای نویسندگان

* * * * *

آزمایش CMS در مرکز تحقیقات هسته‌ای اروپا (CERN) یکی از دو آزمایشی بود که به کشف ذره هیگز انجامید. در این آزمایش ۲۹۰۰ پژوهشگر (از جمله، عده‌ای از پژوهشگران ایرانی) مشارکت داشتند. در مقاله حاصل از این آزمایش که در

به چاپ رسید، نام این پژوهشگران (نویسندگان مقاله) به ترتیب الفبایی مرکب آمده است به این صورت که نخست نام کشورهای سهم در این برنامه به ترتیب الفبایی در نظر گرفته شده، سپس نام دانشگاه‌ها یا پژوهشگاه‌هایی در هر کشور که در آزمایش همکاری داشته‌اند به ترتیب الفبایی موردنظر قرار گرفته، و آنگاه نام پژوهشگران همکار آزمایش در هر پژوهشگاه یا دانشگاه به ترتیب الفبایی آمده است.

۴۷ | شمارہ ییای، ۱۹۷۱ | تابستان ۱۳۹۹

• پژوهشکده ذرات و شتابگرها •

• سمینار هفتگی مجازی

مریم قهرمانی گل، پژوهشگاه،

بررسی حساسیت لامپ‌های تکثیرکننده فوتونی به پرتوهای گاما با استفاده از روش دیجیتال.

مصطفی قاسمی، پژوهشگاه،

تحول زمانی آنتروپی درهم‌تنیدگی برای حالت‌های TFD.

حامد عبدالمالکی، پژوهشگاه،

تولید کوارک افسون در LHeC و بررسی قابلیت آن در استخراج سهم کوارک strange در پروتون.

مریم سلیمانی‌نیا، پژوهشگاه،

وابستگی تکانه عرضی توابع ترکش هادرون‌های باردار پایون، کایون و پروتون/ پادپروتون در فرایند نابودی الکترون-پوزیترون.

علی شایگان، دانشگاه کالیفرنیا، آمریکا،

یک بسط همدیس مدل ابرتقارن و پدیدارشناسی آن در برخورددهنده ذرات.

غلامحسین حقیقت، پژوهشگاه،

جستجو در برخورددهنده‌های ذرات به منظور مطالعه جفتیدگی ذرات شبه-اکسیان با گلوئون‌ها.

هادی مهراب‌پور، پژوهشگاه،

تحلیل سیستماتیک توزیع هماهنگ‌های جریان.

محمد اسدی، پژوهشگاه،

آنتروپی خالص‌سازی از نگاه هولوگرافی.

شیرین چنارانی، پژوهشگاه،

جستجو برای نقض طعم لپتونی در تولید و واپاشی کوارک تاپ در برخورددهنده بزرگ هادرونی.

سمیرا کسائی، پژوهشگاه،

طراحی مغناطیس‌های ضربه‌زن حلقه انبارش برای چشمه نور ایران.

رضا جعفری، پژوهشگاه،

مقید کردن کوارک تاپ در چارچوب نظریه میدان مؤثر با استفاده از تولید زوج کوارک تاپ به همراه یک جت در برخورددهنده‌های لپتونی آینده.

• سمینار مجازی گروه هولوگرافی پژوهشگاه

نیما افخمی جدی، دانشگاه شیکاگو، آمریکا،

گرانش سه بعدی از طریق میانگین‌گیری نظریه‌های میدان همدیس دو بعدی.

جوریت کریوف، دانشگاه استنفورد، آمریکا،

جریان حالت‌ها تحت اعمال عملگر TT بار.

امین فرجی، پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف،

جزیره در حضور مشتقات مراتب بالا.

مونیکا جین‌وو کانگ، کلتک، آمریکا،

دنیای کودک هولوگرافی: داستان مشاهده‌پذیر.

• سمینار مجازی گروه نظری

حمیدرضا صفری، پژوهشگاه،

تغییر ساختار جبرهای تقارنی مجانبی/ نزدیک افق.

سعید قلی بیگلر، دانشگاه فردوسی مشهد،

پیچیدگی هولوگرافیک در نظریه گرانشی انحنای مرتبه دوی عام.

رضا فارغ‌بال، دانشگاه شهید بهشتی و پژوهشگاه،

حد فضای تخت خم‌های فرینال.

ریحانه مطیع، دانشگاه تهران،

مروری بر آسایش مجانبی و گرانش آسوده در مجانب.

وحید حسینی‌زاده، پژوهشگاه،

تقارن‌ها و پیمانه‌ها.

محمد اسدی، پژوهشگاه،

آنتروپی خالص‌سازی نزدیک نقطه بحرانی.

• سمینار مجازی گروه‌های تجربی و پدیده‌شناسی ذرات

رضا جعفری، پژوهشگاه،

نقض تقارن طعم از طریق برهم‌کنش چهارفرمیونی.

مهدی صادق، پژوهشگاه،

شواهد چندلپتونی برای جستجو در ماده تاریک اسکالر در سناریوی هم‌نابودی.

مریم سلیمانی‌نیا، پژوهشگاه،

محتوای پارتونی هسته‌ها و نوکلئون‌ها

مریم قهرمانی گل، پژوهشگاه،

افزاینده‌های فوتونی سیلیکونی در فیزیک هسته‌ای و ذرات بنیادی.

محسن دیانی، پژوهشگاه،

طراحی یک چشمه الکترونی هیبریدی جدید برای آزمایش AWAKE.

حامد عبدالمالکی، پژوهشگاه،

عدم تقارن میان کوارک افسون‌پادافسون در هسته از محاسبات نظریه میدان شبکه‌ای QCD.

سید محسن اعتصامی، پژوهشگاه،

اندازه‌گیری سطح مقطع تولید بوزون Z به همراه یک فوتون و دو جت

از طریق فرایند الکتروضعیف در انرژی برخورد ۱۳ ترالکترون ولت و مقید کردن برهم‌کنش‌های ناهنجار چهارگانه بوزون‌های پیمانه‌ای.

حسین صابری، پژوهشگاه،

منابع نوری کوچک با استفاده از شتابدهنده‌های لیزری ویکفیلد.

علی دخانی، پژوهشگاه،

اندازه‌گیری تولید ttH و ساختار CP در برهم‌کنش یوکاوا میان بوزون هیگز و کوارک تاپ در کانال واپاشی دوفوتونی.

فرید تقی‌نواز، پژوهشگاه،

ویژگی‌های همگرایی در جواب‌های معادلات هیدرودینامیک.

مسعود شکری، پژوهشگاه،

موفقیت نامعقول هیدرودینامیک.

غلامرضا فردی‌پور، پژوهشگاه،

افزاینده‌های فوتونی و افزایش‌های سیلیکونی فوتونی در سیگنال‌های خروجی.

محمد گوهری‌پور، پژوهشگاه،

عجیب‌ترین پروتون.

داریوش حاجی رئیس، پژوهشگاه،

جستجوی مدل‌های شکست طعم لپتونی همراه با ذرات آکسیون‌گونه.

• وبینار مشترک پژوهشگاه و دانشگاه صنعتی شریف با موضوع ماده کوارک و هیدرودینامیک نسبیتی

جورجیو توریری، دانشگاه ایالتی کامپیناس، برزیل،

تعریفی غیراختلالی از هیدرودینامیک همراه با افت‌وخیز.

میشال استریکلند، دانشگاه ایالتی کنت، آمریکا،

سرکوب باتومونیوم در پلاسمای کوارک و گلوئون.

ویویان دلا اینچرا، دانشگاه سی‌تی یونیورسیتی، آمریکا،

فاز موج مغناطیسی دوگانه چگالی دسته‌ای در ماده کوارکی چگال: خواص و اهمیت آن در ستاره‌های نوترونی.

ایگور شوکووی، دانشگاه ایالتی آریزونا، آمریکا،

فوتون‌های مستقیم از پلاسمای کوارک و گلوئون مغناطیده.

شو گوانگ هواونگ، دانشگاه فودان، چین،

چرخش و قطبش اسپین در برخورد یون‌های سنگین.

• بیست و هفتمین دوره کنفرانس سالیانه بهار فیزیک

این کنفرانس که هر ساله با هدف گردهمایی محققان و دانشمندان حوزه فیزیک نظری و تجربی در محل پژوهشگاه برگزار می‌شود، محصول همکاری مشترک چهار پژوهشکده فیزیک، ذرات و شتابگرها، علوم نانو، و نجوم است. شرکت‌کنندگان علاقه‌مند می‌توانند مقالات پژوهشی خود را به منظور ارائه به صورت سخنرانی یا پوستر در کنفرانس، ارسال نمایند تا توسط کمیته علمی کنفرانس بررسی شود. همه سخنرانی‌های ارائه‌شده در کنفرانس، پس از بازبینی مجدد و تأیید سخنرانان و کمیته علمی به صورت مقاله‌نامه الکترونیکی روی وبگاه کنفرانس در اختیار عموم قرار خواهد گرفت.

به دلیل شیوع ویروس کرونا، بیست و هفتمین کنفرانس سالیانه بهار فیزیک با تأخیر در روزهای ۴ و ۵ تیرماه ۱۳۹۹ به میزبانی پژوهشکده ذرات و شتابگرها و به صورت مجازی برگزار شد.

اطلاعات مربوط به کنفرانس در نشانی زیر قابل دسترسی است:

<http://particles.ipm.ir/conferences/2020/27thspring/index.jsp>

کمیته علمی

سید محسن اعتصامی، پژوهشگاه

علی ناصح، پژوهشگاه

علی ناجی، پژوهشگاه

ابا صلت رستمی، پژوهشگاه

محمد گلی، پژوهشگاه

جلال سرآبادانی، پژوهشگاه

معصومه قاسمی نودهی، پژوهشگاه

محمدحسین نامجو، پژوهشگاه

سخنرانی‌ها

محمدرضا هرمزی‌نژاد، دانشگاه صنعتی شریف و پژوهشگاه،

Nature inspired nanostructured optical sensor.

امجد عشوریون، پژوهشگاه،

PBHs from cosmic inflation.

میرفائز میری، دانشگاه تهران و پژوهشگاه،

The interaction of light and quantum rings.

علی‌اکبر ابوالحسنی، دانشگاه صنعتی شریف و پژوهشگاه،

Observable quantum loops in the sky.

محسن دینانی، پژوهشگاه،

Accelerator physics, challenges and opportunities.

عباس منتظری، پژوهشگاه،

Metal-based nanocomposites: Tribological behavior analysis through atomistic simulations.

حمزه خانپور، دانشگاه علم و فناوری مازندران و پژوهشگاه،

Probing the partonic content of nucleons and nuclei at LHC and future colliders.

بهزاد بقراطی، دانشگاه دامغان و پژوهشگاه،

CMS phase-II upgrade of the RPC link system.

صدیقه تیزچنگ، پژوهشگاه،

Search for scalar production through vector-like top quark loop at e^-e^+ colliders.

بهمن امراهی، دانشگاه شهید بهشتی،

Holographic entanglement of purification near a critical point.

حسین حقی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان و پژوهشگاه

Dynamical evolution of star clusters with varying IMF.

حمید حسنی، دانشگاه شهید بهشتی و پژوهشگاه،

Role of thermal and non-thermal processes in the ISM of magellanic clouds.

مهدیه نوابی، پژوهشگاه،

The star formation history of And-VII dwarf galaxy derived from monitoring survey of long-period variable stars.

برنا صالحیان، پژوهشگاه،

Effective theories for a nonrelativistic field in an expanding univers: Induced self-interaction, pressure, sound speed, and viscosity.

امین فرجی، دانشگاه صنعتی شریف و پژوهشگاه،

Quantum physics and geometry, 20 years in 20 minutes.

مجتبی نجفی‌زاده، پژوهشگاه،

Supersymmetric continuous spin gauge theory.

علی سراج، پژوهشگاه،

Gravitational waves and BMS symmetries.

اصغر عسگری، دانشگاه تبریز،

The improved performance of solar cells by random dispersed metal nanoparticles.

علیرضا مرادی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان و پژوهشگاه،

Speckle tweezers.

زهرآ تربتیان، پژوهشگاه،

Low-loss two-dimensional plasmon modes in anti-monene.

• پژوهشکده ریاضیات •

• سخنرانی عمومی ماهانه (مجازی)

مارچلو ویانا، ایمپا، برزیل،

Lyapunov exponents.

• سمینار هفتگی جبر جابه‌جایی (وبینار)

علی مهین فلاح، دانشگاه الزهراء،

Auslander-Reiten conjecture.

اکرم قنبری‌دوست، دانشگاه خوارزمی،

Relative system of parameters and their applications.

زهرآ ناظمیان، پژوهشگاه،

On finitistic conjecture.

احسان توانفر، پژوهشگاه،

Quasi-Gorenstein rings and deformation.

مسعود طوسی، دانشگاه شهید بهشتی و پژوهشگاه،

بخش‌هایی از فصل ۶ کتاب

Elements of the Representation Theory of Associative Algebras

لیانا ام. سگا، دانشگاه میزوری، آمریکا،

– *Cellular resolutions of powers of monomial ideals of projective dimension one.*

– *Laurent series and asymptotic behavior of Ext over graded complete intersections.*

• سمینار هفتگی منطق ریاضی

دیوید فرناندز - داک، دانشگاه گنت، بلژیک،

Dynamic topological logic.

الکس کروکمان، دانشگاه وسلیان، آمریکا،

Interpolative fusions.

مایک پرست، دانشگاه منچستر، انگلستان،

Purity and model theory of modules.

دوگالد مکفرسون، دانشگاه لیدز، انگلستان،

Cardinalities of definable sets in finite structures.

فیلیپ اسکوکرافت، دانشگاه وسلیان، آمریکا،

Existentially closed closure algebras.

متیو ویال، دانشگاه تورینو، ایتالیا،

Tameness for set theory.

• سمینار هفتگی هندسه و توپولوژی

پارسا مشایخی، دانشگاه صنعتی شریف،

Closed geodesics, growth rate, and marked length spectrum.

آدریانا سانچز، انستیتوی ریاضیات و علوم کامپیوتر در سائوکارلوس، برزیل،

An introduction to Lyapunov exponents.

موریسیو پولتی، دانشگاه فدرال سیرا، برزیل،

Partially hyperbolic diffeomorphisms with zero center exponent.

• پژوهشکده ریاضیات - شعبه اصفهان •

• سخنرانی عمومی (وبینار)

رالف کوهل، دانشگاه گیسن، آلمان،

The geometry of Kac-Moody groups.

زینب اخلاقی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،

On the character degree graph of finite groups.

پیتر اولور، دانشگاه مینه‌سوتا، آمریکا،

Recent developments in the theory and applications of moving frames.

• دوره آموزشی کوتاه مدت علوم داده (وبینار)

اعظم ربیعی، مؤسسه کایست، کره جنوبی،

دوره اول مقدمه‌ای بر هوش مصنوعی و علوم داده (در ۵ جلسه).

• پژوهشکده علوم شناختی •

• مدرسه تابستانی مجازی هوش مصنوعی

مدرسه تابستانی مجازی هوش مصنوعی (IPM's Artificial intelligence online summer school) در روزهای ۲۲ تا ۲۴ مرداد ۱۳۹۹ در پژوهشکده علوم شناختی برگزار شد.

• کارگاه مجازی

سیده سارا اقوامی، پژوهشگاه،

Introduction to neuron simulator.

• پنجمین سمپوزیوم فصلی تابستان ۹۹

پنجمین سمپوزیوم فصلی با حضور تمامی اعضای پژوهشکده در روز ۳۰ شهریور به صورت مجازی برگزار شد. در این گردهمایی دکتر پیام پیرای (از مؤسسه علوم اعصاب دانشگاه پرینستون) به عنوان سخنران اصلی موضوع

Why is optimal decision making hard?

را مورد بحث قرار داد و در ادامه، دانشجویان، اعضای پسادکتری و محققان پژوهشکده نیز درخصوص روند طرح‌های تحقیقاتی خود به سخنرانی و یا ارائه پوستر پرداختند.

• جلسه دفاع از رساله دکتری

راحله شفائی، پژوهشگاه،

دو مطالعه در خصوص سطوح مختلف تعارضات شناختی در پدیده‌های اجتماعی.

استاد راهنمای اول: بهادر بهرامی، یونیورسیتی کالج لندن، انگلستان؛
استاد راهنمای دوم: فرشاد فاطمی، دانشگاه شریف.

ندا افضلیان، پژوهشگاه،

بازنمایی نرونی چهره‌های آشنا در سطح قشر بینایی انسان.
استاد راهنما: رضا راجی‌مهر، دانشگاه ام.آی.تی، آمریکا.

سجاد ذباح، پژوهشگاه،

بررسی سازوکار اخذ تصمیم در تصمیم‌گیری‌های ادراکی در حضور محرک گسسته در زمان.

استاد راهنمای اول: رضا ابراهیم‌پور، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی؛
استاد راهنمای دوم: روزبه کیانی، دانشگاه نیویورک، آمریکا.

• پژوهشکده علوم کامپیوتر •

• سومین کنفرانس مباحثی در علوم کامپیوتر نظری

سومین دوره کنفرانس مباحثی در علوم کامپیوتر نظری (TTCS) به میزبانی و حمایت پژوهشگاه در روزهای ۱۱ و ۱۲ تیرماه ۱۳۹۹ برگزار شد. این کنفرانس مانند دو دوره قبل در فهرست کنفرانس‌های مورد تأیید و حمایت IFIP WG 1.8 قرار داشت. کنفرانس TTCS هر دو سال یک بار برگزار می‌شود و پذیرای مقالات در همه زمینه‌های علوم کامپیوتر نظری است. دو دوره قبلی این همایش در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۷ برگزار شده است. مقالات این سه دوره به ترتیب در LNCS12281، LNCS10608، LNCS9541 و توسط Springer به چاپ رسیده است.

کمیته علمی این کنفرانس شامل ۴۵ محقق برجسته برگزیده از دانشگاه‌های معتبر ۱۶ کشور دنیا بود. مدیریت علمی این کنفرانس برعهده محمدعلی آبام (دانشگاه صنعتی شریف)، و لوئیس سوارز باریوسا (دانشگاه مینهو، پرتغال) بود.

در این دوره، ۲۴ مقاله به کنفرانس ارسال شده بود که پس از داوری دقیق توسط کمیته علمی، در نهایت ۸ مقاله برای ارائه در کنفرانس انتخاب شدند.

در کنار ارائه مقالات، کنفرانس میزبان دو سخنرانی علمی زیر توسط دو محقق سرشناس بود:

فیلیپو یونچی، دانشگاه پیزا، ایتالیا،

Self-supervised image and video representation learning.

علی اسلامی، شرکت دیپ‌ماینند، انگلستان،

Representation learning without labels.

ندا ناطق، دانشگاه یوتا، آمریکا،

Toward a less artificial intelligence by understanding the brain's algorithm of active visual perception.

محسن موسوی، مؤسسه فناوری فدرال زوریخ (ETH)، سوئیس،

The geometric inductive bias of deep architectures.

ژائو گوینگ، دانشگاه اولو، فنلاند،

Remote heart rate measure from videos.

حسن ریواز، دانشگاه کنکوردیا، کانادا،

Machine learning in medical ultrasound.

امیرمسعود فرهمند، دانشگاه تورنتو، و مؤسسه وکتور، کانادا،

Remote heart rate measure from videos.

مریم صادقی، شرکت متاپتیم، کانادا،

AI in dermatology.

مهدی خلیق رضوی، مؤسسه رویان،

AI and cognitive health.

حمیدرضا توفیقی، دانشگاه موناخ، استرالیا،

Towards an end-to-end visual perception system for navigation in human-centric environments.

سیس نوک، دانشگاه آمستردام، هلند،

Unseen video understanding.

ژوبین قهرمانی، دانشگاه کمبریج، انگلستان،

Probabilistic machine learning and AI.

امیرعطا قربانی، دانشگاه استنفورد، آمریکا،

Value of data.

رضا آزاد، دانشگاه کاتولیک لون (KU Leuven)، بلژیک،

Few-shot continual learning.

سارا صبور، گوگل برین، کانادا،

Capsule networks.

Interacting Hopf algebras: The theory of linear systems.

محمدتقی حاجی‌آقایی، دانشگاه مرلند، آمریکا،

Massively parallel algorithms and applications for maximal matching and edit distance.

به دلیل شیوع ویروس کرونا، این کنفرانس به صورت مجازی روی سامانه کلاس‌های مجازی دانشگاه صنعتی شریف برگزار شد.

• چهارمین دوره مدرسه تابستانی مباحث پیشرفته در محاسبات

چهارمین دوره مدرسه تابستانی مباحث پیشرفته در محاسبات (IPM) (Advanced School on Computing) با موضوع هوش مصنوعی در هفته اول شهریورماه ۱۳۹۹ به مدت پنج روز توسط پژوهشکده علوم کامپیوتر برگزار شد. در این دوره با دعوت از محققان خارجی و داخلی سعی شد تا مباحث روز هوش مصنوعی مورد بحث و بررسی قرار گیرد. با توجه به شیوع ویروس کرونا، این دوره به صورت مجازی برگزار شد.

مهمترین اهداف این برنامه عبارت بود از: بررسی آخرین یافته‌ها در حوزه هوش مصنوعی؛ و تبادل نظر و همفکری بین محققان ایرانی و خارجی در حوزه هوش مصنوعی.

در مجموع در این مدرسه تابستانی ۲۱ سخنرانی با موضوعات پیشرفته در حوزه یادگیری ماشین، بینایی ماشین، پردازش زبان طبیعی و الگوریتم‌های یادگیری عمیق انجام شد. ۳۰۰ نفر از استادان و دانشجویان تحصیلات تکمیلی هوش مصنوعی در این برنامه شرکت کردند.

سخنرانی‌ها در پنج روز و در قالب ۱۰ جلسه برگزار گردید. جزئیات در وبگاه این رویداد به نشانی زیر قابل دسترسی است:

<http://cs.ipm.ac.ir/ASoC2020>

سخنرانی‌ها

علی برجی، شرکت هوش مصنوعی مارکابل‌آی، آمریکا،

Adversarial robustness and object detection.

رضا شکری، دانشگاه ملی سنگاپور، سنگاپور،

Trustworthy machine learning.

مهدی نوروزی، شرکت بوش، آلمان،

مهرداد فرج تبار، گوگل دیپ مایند، آمریکا،

Dealing with catastrophic forgetting in continual learning of neural networks.

میثم مددی، دانشگاه بارسلونا، اسپانیا،

Forgetting in continual learning of neural networks deep learning advances on human pose and shape estimation.

محمدطاهر پیلهور، مؤسسه مطالعات پیشرفته تهران،

Embeddings in natural language processing.

آنیمش گارگ، دانشگاه تورنتو، و مؤسسه وکتور، کانادا،

Structured inductive biases for generalization in robot learning.

کمیته اجرایی

محمد سبک‌رو، پژوهشگاه

مریم اسدی، پژوهشگاه

محسن فیاض، دانشگاه بُن، آلمان

علی دیبا، دانشگاه کاتولیک لوون (KU Leuven)، بلژیک

محمد خالویی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

• پژوهشکده علوم نانو •

• سمینار هفتگی مجازی

سیدرضا سیدنژاد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان،

Nematic liquid crystal colloids as elastic multipoles and their atomic properties.

مجتبی خراسانی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان،

Periodic mesoporous organosilica with bulky functional groups within frameworks from bulk to especial morphology.

یاسر بهاری، دانشگاه گیلان،

Li-ion batteries: Basics, properties and prospects of the novel anode nanomaterials.

مجتبی علائی، دانشگاه صنعتی اصفهان،

Ab initio prediction of magnetic properties.

راحله محمدپور، دانشگاه صنعتی شریف،

Triboelectric nanogenerators as self-powered sensors.

بابک عبداللهی‌پور، دانشگاه تبریز،

Andreev reflection at the interface of the type-I and type-II Weyl semimetals.

• سمینار تخصصی مجازی

زهرا تربتیان، پژوهشگاه،

Broken adiabaticity induced by Lifshitz transition in MoS_2 and WS_2 single layers.

محمد گلی، پژوهشگاه،

Fermionic neural-network states for ab-initio electronic structure.

محمد علیدوستی، پژوهشگاه،

Charge density wave and superconducting phase in monolayer InSe.

محسن فرخ‌نژاد، پژوهشگاه،

Resonant photovoltaic effect in doped magnetic semiconductors.

• کارگاه جنبه‌ها و کاربردهای نوین تله‌اندازی نوری

کارگاه جنبه‌ها و کاربردهای نوین تله‌اندازی نوری در روز ۱۸ شهریور ۱۳۹۹ در پژوهشکده علوم نانو به صورت مجازی و با حضور سخنرانان و شرکت‌کنندگان داخلی و خارجی برگزار شد.

تله‌اندازی نوری در حوزه‌های مختلفی از علوم و فناوری به‌ویژه در علوم زیستی و مواد نرم کاربردهای فراوانی یافته است. این روش ابزاری بسیار کارآمد برای میکرو دستکاری (micromanipulation) سیستم‌های زیستی فراهم کرده و به دلیل کاربردهای روزافزون آن در سال ۲۰۱۸ بخشی از جایزه نوبل فیزیک به مبدع این روش اهدا شد.

از شش سخنرانی ایرادشده در این همایش، سه سخنرانی به مرور اصول و مفاهیم اولیه و پیشرفت‌های اخیر و سه سخنرانی دیگر به کاربرد ویژه روش‌های تله‌اندازی نوری اختصاص داشتند. برخی از موضوعات اساسی طرح‌شده در این سخنرانی‌ها عبارت بودند از: روش‌های جدید تله‌اندازی نوری با لیزر با توان بسیار کم، بررسی و اندازه‌گیری پاسخ سلول‌ها به دستکاری‌های بیوشیمیایی و مکانیکی با استفاده از تله‌اندازی

نوری، استفاده از میدان‌های نوری برای تحریک و آشکارسازی یک یا تعداد بیشتری سلول عصبی، تله‌اندازی نوری در کاواک و در فضا.

در این کارگاه مجازی بیش از ۱۰۰ نفر شرکت داشتند که از اعضای هیئت‌علمی، پژوهشگران پسادکتری، و دانشجویان دوره‌های تحصیلات تکمیلی بودند. در برگزاری این همایش، پژوهشکده علوم نانو از همکاری دانشگاه تحصیلات تکمیلی در علوم پایه زنجان به عنوان حامی همایش برخوردار بود.

برگزارکنندگان

علیرضا مرادی، پژوهشگاه

رضا عسگری، پژوهشگاه

سخنرانی‌ها

کیشان دُلاکيا، دانشگاه سنت‌اندروز، انگلستان،

Let nothing slow you down: Optical trapping in vacuum.

جوانی وُلپ، دانشگاه گوتنبرگ، سوئد،

Deep learning for microscopy and optical manipulation.

اُنفریو ماراگو، انستیتوی فرایندهای شیمیایی و فیزیکی (CNR-IPCF)، مسینا، ایتالیا،

Optical tweezers on nanostructures.

والنتینا امیلیانی، انستیتوی بینایی، فرانسه،

Holographic manipulation of neuronal circuits.

سمانه رضوانی، مؤسسه پیکوکوانت، آلمان،

Cell response to biochemical and mechanical manipulation probed with optical tweezers.

فاطمه کلانتری‌فرد، دانشگاه بغازچی، ترکیه،

Intra-cavity optical tweezers.

سید عباس کاظمی اسکویی، پژوهشگاه،

تأملی بر دیدگاه آدامز در باب خوبی به مثابه شباهت به خدا.

محمدهادی صفائی، پژوهشگاه،

تقدم عقلانیت بر دلایل.

مرضیه لطفی، پژوهشگاه،

انتقاد کورمن به سور بنیادین.

مصعب ایزدی سعدی، پژوهشگاه،

مدل ادراکی عواطف و توجیه باورهای دینی.

• برگزاری مدرسه تابستانی

پژوهشکده فلسفه تحلیلی پژوهشگاه در روزهای ۱۵ تا ۱۸ شهریور ماه ۱۳۹۹ نهمین مدرسه تابستانی فلسفه تحلیلی را با موضوع «مباحثی در فلسفه منطق و فلسفه ریاضیات» برگزار کرد. جهت رعایت پروتکل‌های بهداشتی در دوران همه‌گیری کرونا، این دوره به صورت مجازی برگزار شد. در این مدرسه چهارروزه مباحث زیر تدریس شد:

حمید وحید، پژوهشگاه،

معنای ثوابت منطقی.

سید نصرالله موسویان، پژوهشگاه،

تارسکی در باب مفاهیم منطقی.

ساجد طیبی، پژوهشگاه،

منطق‌گرایی فرگه و تعریف او از عدد.

بهرام اسدیان، دانشگاه آمستردام، هلند،

ساختارگرایی ریاضی.

صالح زارع‌پور، دانشگاه لودویگ ماکسیمیلیان، آلمان،

فلسفه ریاضی این سینا.

• پژوهشکده فیزیک

• سمینار مجازی گروه ماده چگال و فیزیک آماری

زهرا اعتصامی، پژوهشگاه،

The effect of noise on Casimir nano-machines.

زهرا شمالی، دانشگاه تربیت مدرس،

Spin transfer torque and exchange coupling in

• پژوهشکده فلسفه تحلیلی

• تک‌سخنرانی مجازی

فراز قلبی، پژوهشگاه،

حمل، خنثی، ایجابی، یا ایجابی وجهی؟

وحید تومانی، مؤسسه ماکس پلانک، آلمان،

Reconstruction of E.M.4-vector potential in Kerr-Newman background.

• **سمینار مجازی فیزیک بنیادی**

سجاد آقاپور، پژوهشگاه،

Helicity, spin and duality symmetry in classical field theories.

قدیر جعفری، پژوهشگاه،

The quest for a fundamental theory, quantum gravity or multiverse?

مهدی رضانی، دانشگاه صنعتی شریف،

Is the moon there when nobody looks?

امیرحسین صنایعی، دانشگاه شهید بهشتی،

The adventures of parity ()violation).

• **پژوهشکده نجوم**

• **سمینار هفتگی مجازی**

محمدعلی گرجی، مؤسسه یوکاوا، ژاپن،

The consistent $D \rightarrow 4$ Einstein-Gauss-Bonnet gravity.

برنا صالحیان، پژوهشگاه،

Effective theories for a nonrelativistic field in an expanding universe.

امین نصیری‌راد، پژوهشگاه،

Stochastic non-attractor inflation.

بهنام جوانمردی، مرکز ملی تحقیقات علمی پاریس (CNRS)، فرانسه،

Cosmic discordance: What is the value of the Hubble constant?

شانت باگرام، دانشگاه صنعتی شریف،

Nonlinear structure formation from milky way to H_0 .

Josephson junctions with ferromagnetic superconductor reservoirs.

آسیه سادات کاظمی، دانشگاه علم و صنعت،

Tuning the wettability of carbon-based membranes with covalent functionalization for efficient water desalination.

میثم باقری، دانشگاه گیلان،

Prediction of hydrogenated group IV-V hexagonal binary momolayers.

صادق رئیسی، دانشگاه صنعتی شریف،

Coherence based characterization of macroscopic quantumness.

سید نادر رسولی، پژوهشگاه و دانشگاه گیلان،

Reverse dance in an external flow: Meet Onsager again!

• **سمینار مجازی انرژی‌های بالا**

پویا بختی، پژوهشگاه،

Oscillation tomography of the earth with solar neutrinos and future experiments.

حامد عدمی، پژوهشگاه،

T-Witts from the horizon.

احسان ابراهیمیان، دانشگاه صنعتی شریف،

Dynamical tidal locking theory: A new source of the spin of dark matter halos.

علی شایگان، دانشگاه صنعتی شریف،

Quantum critical Higgs: From ADS5 to colliders.

وحید تقی‌لو، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان،

Symmetries at null boundaries: Two and three dimensional gravity cases.

منیژه بتشکنان فرد، دانشگاه کاشان،

Induced energy-momentum tensor of Dirac field in 2-dimensional de Sitter quantum electrodynamics.



واقع در طبقه پایین ساختمان پژوهشگاه در نیاوران
منشوری که به مثلث‌های متساوی‌الاضلاع تجزیه شده
کارل اشلامینگر
تاریخ نصب: ۱۳۵۶



واقع در ضلع شمال شرقی میدان نیاوران (شهید باهنر)
یادمان سرو (یادمانی برای شهید باهنر)
سعید شهلایپور
تاریخ نصب: ۱۳۸۵

اخبار، نشریه خبری پژوهشگاه دانش‌های بنیادی، در پایان هر فصل منتشر می‌شود. آرای مندرج در اخبار (مگر در مورد سرمقاله) لزوماً مبین نظر رسمی پژوهشگاه نیست. نقل مطالب بدون ذکر مأخذ ممنوع است.

صاحب امتیاز
پژوهشگاه دانش‌های بنیادی
(مرکز تحقیقات فیزیک نظری و ریاضیات)

مدیر مسئول
غلامرضا خسروشاهی

ویراستار
سیامک کاظمی

حروفچینی و صفحه‌آرایی (Xepersian)
شهلا تقوی، سیده فاطمه ولایی

طرح روی جلد
ملیحه السادات حسینی

مدیر فنی وبگاه
سعید صدری

نشانی
مرکز اطلاع رسانی، پژوهشگاه دانش‌های بنیادی،
میدان شهید، باهنر تهران

صندوق پستی ۵۷۴۶-۱۹۳۹۵
تلفن ۴-۲۲۲۷۸۰۱۳



در این شماره:

- * آشنایی بیشتر با پژوهشکده نجوم
- * گرانس ناموضعی: تعمیم ناموضعی نسبت عام اینشتین
- * الهام بخش‌ترین کشف نجومی ایران
- * ستاره‌زایی و تحول کهکشان‌ها
- * کیهان‌شناسی مدرن، از چهل مرکب به چهل بسیط ...
- * تلسکوپ‌های نوری، دریچه‌ای به روی عظمت جهان
- * گزیده‌ای از واژه‌های مصوب فرهنگستان زبان و ادب فارسی در زمینه نجوم
- * جدول فاصله‌های کیهانی
- * نردبان فاصله‌های کیهانی
- * کلاغ‌ها دارای توانایی تفکر آگاهانه هستند
- * ساختمان قابلیت محور دلایل معرفتی
- * چیدمان نام مؤلفان در مقالات پژوهشی
- * رویدادها (تابستان ۱۳۹۹)

سه اصل مدیریتی در نظام پژوهشگاه:

«محقق محوری»

«استقلال واحدهای پژوهشی»

«انعطاف‌پذیری در ایجاد و انحلال واحدهای پژوهشی»